

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

INSTITUTO DEL AMBIENTE

DOCUMENTO NÚMERO 3

GESTIÓN DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS

Una preocupación a nivel global

Dra. Ing. Noemí Zaritzky - Dra. Norma Nudelman



JUNIO 2020

**BUENOS AIRES
REPÚBLICA ARGENTINA**

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

INSTITUTO DEL AMBIENTE

DOCUMENTO NÚMERO 3

GESTIÓN DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS

Una preocupación a nivel global

Dra. Ing. Noemí Zaritzky - Dra. Norma Nudelman



JUNIO 2020

**BUENOS AIRES
REPÚBLICA ARGENTINA**

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

PRESIDENTE HONORARIO

Ing. Oscar A. Vardé

MESA DIRECTIVA (2020-2022)

Presidente

Ing. Manuel A. Solanet

Vicepresidente 1º

Ing. Máximo J. Fioravanti

Vicepresidente 2º

Ing. Oscar U. Vignart

Secretario

Ing. Tomás A. del Carril

Prosecretaria

Ing. Patricia L. Arnera

Tesorero

Ing. Gustavo A. Devoto

Protesorero

Ing. José Luis Rocés

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

ACADÉMICO HONORARIO

Ing. Isidoro Marín

ACADÉMICOS EMÉRITOS

Ing. Osvaldo C. Garau

Ing. René A. Dubois

Ing. Eduardo A. Pedace

Ing. Conrado E. Bauer

Dr. Ing. Rodolfo F. Danesi

Dr. José P. Abriata

Ing. Juan S. Carmona

Ing. Augusto C. Noel

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

ACADÉMICOS TITULARES¹

Ing. Oscar A. Vardé
Ing. Luis U. Jáuregui
Dr. Ing. Raúl A. Lopardo
Ing. Ricardo A. Schwarz
Ing. Manuel A. Solanet
Ing. Francisco J. Sierra
Ing. Tomás A. del Carril
Ing. Rodolfo E. Biasca
Ing. Eduardo R. Baglietto
Ing. Arístides B. Domínguez
Ing. Alberto Giovambattista
Ing. Carlos D. Tramutola
Dra. Ing. Noemí E. Zaritzky
Ing. Gustavo A. Devoto
Ing. Patricia L. Arnera
Dr. Ing. Raúl D. Bertero
Ing. Máximo J. Fioravanti
Ing. Miguel A. Beruto
Ing. Oscar U. Vignart
Dr. Ing. Ezequiel Pallejá
Ing. Osvaldo J. Postiglioni
Ing. Luis A. de Vedia
Ing. Javier R. Fazio
Ing. José Luis Rocas
Ing. Roberto S. Carnicer
Ing. Raúl S. Escalante (electo)
Ing. Antonio A. Cadenas (electo)
Ing. Nicolás Gallo (electo)
Ing. Mario Solari (electo)
Ing. César Arias (electo)
Ing. Hipólito A. Choren (electo)

¹ Ordenados según antigüedad.

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

INSTITUTO DEL AMBIENTE

Director: Académico Ing. Osvaldo Postiglioni

Integrantes:

Académico electo Ing. César Arias

Ing. Fernando J. Chenlo

Académico electo Ing. Hipólito Choren

Lic. Guillermo Genta

Ing. Darío Gómez

Académico Ing. Luis Jáuregui

Lic. Juan Paladino

Dr. Marcos Rebasa

Dra. Norma Sbarbati Nudelman

Lic. Fernando Valdovino

Académico Emérito Ing. Eduardo Pedace

Académica Dra. Ing. Noemí Zaritzky

GESTIÓN DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS

Una preocupación a nivel global

CONTENIDO

Introducción – Objetivo del documento

- 1. Cuando hablamos de plásticos, ¿a qué nos referimos?**
- 2. Situación de los residuos plásticos en el mundo y en Argentina**
- 3. Cantidades de residuos generados y procedimientos adoptados para su gestión.**
- 4. Los plásticos y la salud humana y ambiental.**
- 5. Gestiones a nivel internacional y nacional**
Investigaciones en curso, (orientación y tendencias)
- 6. Alianzas entre Grandes Empresas productoras de alimentos, bebidas, etc. y las productoras de plásticos**
- 7. Recomendaciones para la gestión en nuestro país**
A nivel de los consumidores, a nivel institucional y regulaciones sugeridas
- 8. Antecedentes consultados**
- 9. ANEXOS**

Anexo 9.1. Descripción de algunos termoplásticos

Anexo 9.2. Riesgo ambiental para la salud humana

Anexo 9.3. Gestión de residuos: las “4r” y disposición final

AGRADECIMIENTOS

Todos los integrantes del INSTITUTO DEL AMBIENTE han efectuado valiosos aportes para la elaboración de este documento. Un agradecimiento especial para el Ing. Hipólito Choren y el Lic. Juan José Paladino, y al Ing. Osvaldo J. Postiglioni por la Coordinación realizada.

GESTIÓN DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS

Una preocupación a nivel global

INTRODUCCIÓN

En ocasión de la primera reunión del Instituto Ambiental (IA) del año 2019, se consideró oportuno preparar un documento que contribuya a la difusión del conocimiento de la situación ambiental creada por el vertiginoso crecimiento de la producción mundial de plásticos, de productos procesados a partir de aquéllos y fundamentalmente de la complejidad de la gestión de los residuos derivados de la utilización de los mismos.

En principio, los integrantes del IA, nos habíamos propuesto concluir la elaboración del documento dentro del periodo de sesiones de dicho año, para luego proceder a las instancias de revisión a nivel de la Academia Nacional de la Ingeniería (ANI), pero se ha considerado oportuno, extender unos meses esa meta, en virtud de las importantes novedades y publicaciones que fueron produciéndose en el segundo semestre, lo que motivó la necesidad de una revisión de las primeras versiones de este documento.

En términos de la secuencia de los documentos preparados por el IA, en períodos anteriores, éste se inscribe en la misma orientación que se propuso en el que denominamos “Reflexiones acerca de la Bioeconomía como motor de la Sostenibilidad“, año 2018 y en el de “La Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos–Desafíos para una situación ambiental crítica”, año 2018, ambos disponibles en el sitio web de la ANI. www.acadning.org.ar

Al momento de plantear su contenido y teniendo en cuenta que la misión del IA como integrante de la ANI, es la de plantear estrategias que establezcan el sistema de gestión de estos residuos en todo el territorio nacional, tanto en cuanto a las alternativas tecnológicas como las sugerencias en lo relativo a las institucionales y regulatorias, se consideró que, sin perder de vista ese objetivo central, era conveniente incorporar algunos ítems descriptivos de las características de los plásticos, de los tipos de usos que se hacen de los productos procesados y de las tecnologías aplicadas en la recuperación, reciclaje de los mismos, así como las cuestiones ambientales en general y en la salud humana en particular, que tienen los residuos plásticos mal gestionados.

Por ello el documento, aún tomando el riesgo de repetir información que fuera difundida precedentemente, hace hincapié en el impacto ambiental derivado de la incorporación de algunos de los componentes de estos materiales en el ambiente, y consecuentemente en los ecosistemas y en la salud humana, y se presentan las alternativas tecnológicas que ya se están aplicando para viabilizar el reciclaje y reutilización de los residuos que se generen, y eventualmente su transformación y valorización energética.

Atento a lo anterior, como se ha visto en el índice, algunos aspectos muy específicos de la estructura química de los plásticos, del riesgo que para la salud humana y el ambiente en general tienen los residuos y de las tecnologías de revalorización, son colocados en Anexos y se incluye una selección de antecedentes consultados, para quienes quieran profundizar el conocimiento en dichas cuestiones.

1. CUANDO HABLAMOS DE PLÁSTICOS, ¿A QUÉ NOS REFERIMOS?

Los materiales denominados plásticos están constituidos por una variedad de compuestos, que tienen propiedades de elasticidad y flexibilidad que permiten moldearlas en objetos sólidos de diversas formas. Esta propiedad confiere a los plásticos gran variedad de aplicaciones.

Los plásticos son polímeros de alto peso molecular de moléculas orgánicas. En general se sintetizan a partir de derivados químicos del petróleo aunque también existen, plásticos derivados de fuentes renovables, tales como el ácido poliláctico, plásticos derivados del almidón y de origen bacteriano como los polihidroxicanoatos, etc. El 8% de la producción mundial de petróleo se utiliza en la producción de plásticos; la mitad de ese porcentaje en la producción de materia prima y el resto en la generación de energía para su producción.

El término bioplástico refiere a los polímeros generados a partir de biomasa (ej: almidón, celulosa, melazas, etc.), en lugar de los derivados del petróleo. Si bien la proporción de éstos en el total de la producción mundial es pequeña, actualmente del orden del 1%, su comportamiento ambiental es más amigable que el de los derivados del petróleo y por ello son motivo de numerosas investigaciones para lograr mejorar sus características, aumentar su producción y finalmente ampliar su inserción en el mercado.

Existen principalmente tres tipos de plásticos:

1. Termoplásticos, son aquéllos que funden al calentarse pudiendo colocarse en un molde ya que, al enfriarse, vuelven a endurecerse. Los polímeros termoplásticos después de ser calentados y moldeados, pueden ser recalentados y formar otros objetos, Este hecho facilita el reciclaje de estos plásticos, ya que es relativamente fácil hacer nuevos productos. La mayor parte de los termoplásticos son polímeros de alto peso molecular, los cuales poseen cadenas asociadas. Los termoplásticos más usados son polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), polimetilmetacrilato (PMMA), policloruro de vinilo (PVC), politereftalato de etileno (PET), el teflón y el nylon (un tipo de poliamida). Más detalles pueden consultarse en el ANEXO TÉCNICO 9.1.

2. Termoestables: Los plásticos termoestables son materiales que, una vez que han sufrido el proceso de calentamiento-fusión y formación-solidificación, se convierten en materiales rígidos que no vuelven a fundirse, es decir que una vez que han adquirido una forma al enfriarse y

solidificarse, permanecen en este estado aunque se los caliente, y por tanto, no pueden volver a fundirse. En general el proceso de polimerización para los plásticos termoestables se suele dar en dos etapas: en la primera se produce la polimerización parcial, formando cadenas lineales, y en la segunda el proceso se completa entrelazando las moléculas. Sufren un cambio químico cuando se moldean y, una vez transformados por la acción del calor, no pueden ya modificar su forma. Son ejemplos las resinas epoxídicas, las resinas fenólicas y amídicas y los poliuretanos. Los termoestables más utilizados, son el caucho natural vulcanizado, la baquelita, las resinas y las siliconas. Aminoplásticos: son polímeros de urea y derivados; pertenece a este grupo la melanina.

3. Elastómeros o cauchos: Tienen una gran elasticidad y capacidad de estiramiento y rebote. Recuperan su forma original una vez que se retira la fuerza que los deformaba. Comprenden los cauchos naturales obtenidos a partir del látex natural y los sintéticos; entre estos últimos se encuentran el neopreno y el polibutadieno. Todos ellos se caracterizan por su ligereza, durabilidad y amplia estabilidad ante la humedad y los productos químicos, propiedades que si bien pueden considerarse cualidades en el ámbito de su producción y su utilización, se tornan desventajas a la hora de su consideración como residuos.

Existe una gran variedad de plásticos y para clasificarlos, se usa un sistema de codificación que se muestra en la Tabla 1.

Los productos llevan una marca que consiste en el símbolo internacional de reciclado con el código correspondiente en medio según el material específico. El objetivo principal de este código es la identificación del tipo de polímero del que está hecho el plástico para su correcto reciclaje.

Los plásticos se clasifican de acuerdo a la identificación de la Norma IRAM 13700. Esta norma adopta la clasificación internacional más difundida donde se toman los 6 plásticos más comunes y el tipo 7 agrupa a todas las demás resinas o mezclas.

Para facilitar tal tarea, se convino que los productos plásticos elaborados tengan una leyenda que indique de qué tipo de material se trata. Los números son una simple numeración y las letras son las siglas del tipo de plástico.

Tabla 1 . Codificación internacional para los distintos plásticos.

Tipo de plástico	Polietileno Tereftalato	Polietileno de alta densidad	Policloruro de vinilo	Polietileno de baja densidad	Polipropileno	Poliestireno	Otros
Acrónimo	PET	PEAD/HDPE	PVC	PEBD/LDPE	PP	PS	Otros
Código	1	2	3	4	5	6	7

CÓDIGOS DE IDENTIFICACIÓN DE RESINAS DE PLÁSTICO



En el proceso de manufactura de un polímero, se usa una gran variedad de productos químicos, tales como iniciadores, catalizadores y solventes, pero además se añaden otros como *aditivos* tales como: retardantes de llama, colorantes, pigmentos, etc. y otros para procurar características especiales, por ej. inhibir la fotodegradación, aumentar la fuerza, la rigidez o la flexibilidad, etc. Estos compuestos no están unidos a la matriz polimérica, usualmente son de bajo peso molecular, y se liberan fácilmente al ambiente.

La presencia de estos aditivos constituye el principal escollo para su reutilización, atento a las características tóxicas o carcinogénicas que suelen tener algunos de ellos.

Un análisis global de toda la masa de plásticos producida (excluyendo las fibras), muestra que contiene, en promedio, 93% de resina polimérica y un 7% de aditivos. El PVC constituye el plástico con mayor variedad de aditivos, que incluyen: estabilizadores al calor para hacerlo más estable, y plastificantes, tales como ftalatos, para procurarle mayor flexibilidad. Al PP se le añaden antioxidantes y estabilizantes UV.

En cuanto a los bioplásticos, fabricados a partir de recursos renovables, constituyen un reto al futuro y así lo han considerado muchas empresas que conjuntamente con organismos de investigación, están haciendo muchos esfuerzos para conseguir productos que tengan características funcionales similares a los producidos en base a derivados del petróleo y a su vez, puedan ser obtenidos a costos comparables a éstos

últimos. Teniendo en cuenta que por el momento su inserción en el mercado es del orden del 1% del total, y que el abordaje de los bioplásticos, merece un análisis muy detallado sobre sus beneficios e impactos ambientales, se ha preferido no incluirlos en este documento.

Macro y Microplásticos

Los macroplásticos ingresan al ambiente tal cual es el producto original del consumidor. Se ha publicado una compilación internacional reciente de los 20 productos encontrados mayoritariamente en costas de lagos, ríos, mares y océanos. De ellos, el 75% son envases de comida o bebidas (envoltorios, botellas y tapas, sorbetes, vasos, platos, cubiertos, etc.), el resto está relacionado con productos para fumar y otros productos (por ejemplo: bolsas, pañales, globos, condones, tampones, etc.)

Si bien no existe una definición precisa, usualmente se entiende por “microplásticos” partículas de polímeros orgánicos sintéticos que miden menos de 5mm de largo. Pueden detectarse en muestras ambientales partículas de alrededor de 1 micrón, pero pocos estudios han informado partículas menores a 50 micrones. Los microplásticos pueden ser primarios, i.e. producidos como tales en forma de polvo (constituyendo cremas estéticas) o pellets (que se usan para fabricar otros productos de plástico), o secundarios provenientes de la degradación de productos de mayor tamaño, directos del consumidor.

Los microplásticos primarios se usan mucho en la fabricación de productos de cuidado personal (pasta dentífrica, toallitas de mano, o de rostro), pero recientemente se están prohibiendo en la mayoría de los países desarrollados. La gran mayoría de los estudios de riesgos a la salud de los organismos vivos y a la salud humana en particular, toman como sujeto de investigación el comportamiento de los microplásticos.

En el estudio realizado en el Mar Tirreno e indicado en la Ref: 29, se concluye que del total de microplásticos que llegan a los océanos, sólo el 1% puede encontrarse a nivel superficial y el 99% restante es transportado por las corrientes marinas hacia las aguas profundas y concentrado en el suelo submarino, según la estructura morfológica del sitio. A partir de las muestras de sedimentos, se obtuvieron resultados sorprendentes como el hallazgo de concentraciones del orden de $1,9 \times 10^6$ piezas de microplásticos por m^2 . Si bien el estudio ha sido realizado en un área específica relativamente pequeña en comparación con la de los mares vinculados, como el mar Mediterráneo, los resultados obtenidos indican la importancia de las corrientes marinas en el transporte, la deposición y la concentración de estas partículas en determinados sitios

a altas profundidades. Es importante complementar estos resultados, con los de otros estudios en los que se ha comprobado la presencia de microplásticos en los distintos organismos de la cadena trófica, lo que se comenta en el punto 4 de este documento y en el Anexo 9.2, en cuanto al riesgo que eso podría significar para la salud humana y ambiental.

2. SITUACIÓN DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS EN EL MUNDO Y EN ARGENTINA

Los plásticos irrumpieron en el mercado global después de la Segunda Guerra Mundial (se suele presentar las estadísticas a partir de 1950) y un análisis reciente revela que **hasta 2016 se han producido unos 8300 x 10⁶ toneladas (la producción anual actual estimada es del orden de las 400 x 10⁶ tn y la proyectada al 2050 es de 1800 x 10⁶ tn/año)**. En esa producción pueden reconocerse 3 categorías: las resinas poliméricas, las fibras sintéticas y los aditivos plásticos. Las resinas prevalentes se producen a partir de *polietileno-PE*, en un 36% del total, *polipropileno-PP* en un 22%, *poliestireno-PS*, *cloruro de polivinilo-PVC*, *tereftalato de polietileno-PET*, y *poliuretano-PUR*, cada uno en cantidades inferiores al 10% de la producción total. Las fibras sintéticas mayoritariamente provienen de *poliéster*; *poliamida* y *acrílico-PPBA*.

Un cambio importante en mayor detrimento de la crisis actual, se produjo a partir del uso mayoritario de envases descartables (llamados también de single-use), contrapuesto al reusable. Por esta razón, el mercado de plástico más significativo está vinculado al **material de empaque y constituye el 42% de toda la producción mundial**. *Es el producto con más corta vida de uso, ya que usualmente se descarta antes del año de haberse producido. Se trata de envases, utensilios para alimentación y bolsas de residuos. Le siguen en importancia el uso en productos eléctricos y electrónicos, maquinaria industrial y transporte, que demanda del orden del 39% de la producción y el uso en la construcción que aplica aproximadamente el 19%.*

De las 400 x 10⁶ tn estimadas de producción global actual de plásticos, el 40% (es decir aproximadamente 160 x 10⁶ tn.) se producen entre EEUU y Europa, el 45 % (es decir alrededor de 180 x 10⁶ tn.) se producen en Asia, siendo China, India y Japón los principales productores de esa región y el 15% restante corresponde al resto del mundo.

EEUU y los países de Europa (salvo alguna excepción) son netos exportadores de residuos plásticos, con destino hasta el año 2018, a algunos países asiáticos como China, India y Vietnam.

En la Argentina la producción anual de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) era de 44.600 tn/año en el 2016, según lo indica el Informe Ambiental 2017 de la SAyDS. (Ref: 12). Publicaciones más recientes, mencionan que la producción anual ya supera las 49.000 tn/año. De ese total, los residuos plásticos están constituidos por alrededor del 18 a 20%, (del orden de las 9000 tn/año), lo que en volumen significa un porcentaje al menos del doble, respecto al total.

En la Ref 28, se menciona un estudio realizado por el CEAMSE conjuntamente con la Facultad de Ingeniería de la UBA en el 2015 y publicado en el 2016, respecto a la calidad de los RSU en la CABA. De los resultados obtenidos en ese detallado informe, se extraen los siguientes datos:

a. La composición física de los RSU: Papeles y Cartones 14,4 %, Plásticos 12,6 %, Desechos orgánicos 43,56%, como valores medios en P/P. Para los plásticos según las zonas de la CABA se obtuvieron porcentajes de hasta 15,47%.

b. La discriminación del componente de plásticos fue la siguiente:

PET(1): 1,62%, PEAD(2): 1.14%, PVC(3) :0,46%, PEBD(4) 5,23%, PP(5) 2.14%, PS(6):1,61% y Otros(7): 0,40% .

Los números entre paréntesis corresponden a los códigos de identificación de plásticos, incorporado en el punto 1.

El mismo estudio menciona que el componente de mayor crecimiento en el periodo 1972 al 2015, ha sido el de los plásticos, alcanzando valores de casi el 20% en el verano 2005 y en el verano 2010/2011, y justifica la disminución del porcentaje al 12,6% en el 2015, a la tarea de los recuperadores urbanos sobre los potencialmente recuperables (PET, PEAD, y PEBD).

3. CANTIDADES DE RESIDUOS GENERADOS Y PROCEDIMIENTOS ADOPTADOS PARA SU GESTIÓN.

De las 8.300×10^6 ton de materias primas de plásticos producidos desde 1950 hasta el 2016, se estima que el 60%, es decir aproximadamente 4.900×10^6 tn constituyeron residuos luego del uso al que fueron destinados, con destino final en vertederos o en alguno de los compartimentos del ambiente, con las consecuencias que para la salud humana y los ecosistemas, se comentan en el punto siguiente. Los océanos, constituyen el reservorio principal de los residuos, cuyo origen es atribuido en un 80% a fuentes terrestres. Se

ha señalado en diversas publicaciones, que los ríos del sudeste asiático, son los principales contribuyentes de lo que se vierte globalmente a los océanos.

Según un estudio reciente de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (*International Union for Conservation of Nature*), las dos fuentes principales de la presencia de microplásticos en el océano son: fibras textiles sintéticas y partículas provenientes de la abrasión de los neumáticos de autos. **Cada año, 8 millones de toneladas de plástico terminan en los océanos.**

Un detallado estudio de los 10 productos plásticos principales que se han recogido como “basura” en costas de lagos, mares y océanos, son productos que “se usan una sola vez” (“single-use”) también llamados “descartables”, entre los que se encuentran: cajas de comida; vasos para bebidas; cotonetes o hisopos, cubiertos, platos, sorbetes, globos y sus barritas para sostenerlos, paquetes y envoltorios .envases de bebidas y sus tapas, botellas de bebidas, filtros para cigarrillos, toallas higiénicas, pañales, bolsas livianas de plástico, cañas de pescar y otros elementos de pesca.

Los plásticos que se desechan sin control, tras su utilización, han originado gigantescos basureros marinos, como la llamada «sopa de plástico», el mayor vertedero de materiales plásticos del mundo. La sopa de plástico situada en el giro oceánico del Pacífico norte, se estima que tiene un tamaño de 1 400 000 km².

Las características moleculares (tipos de polímeros) del plástico contribuyen a que presenten una gran resistencia a la degradación ambiental y con mayor razón a la biodegradación. La radiación UV del sol es la única forma de degradación natural que hace sentir sus efectos en el plástico a mediano plazo, destruyendo los enlaces poliméricos y tornándolo frágil y quebradizo.

Los residuos plásticos integran los **residuos sólidos** y pueden originarse en los centros urbanos como **Residuos domiciliarios (RSU)**: en general son envases como botellas, envases de alimentos, etc.; en los procesos industriales como **Residuos industriales (RI)**: con una gran diversidad dependiendo del tipo de industria y en la actividad agrícola, como **Residuos agrícolas (RA)**: silos bolsa, films de invernadero y bidones vacíos de fitosanitarios, entre otros.

Los plásticos contenidos en los residuos sólidos urbanos (RSU) son mayoritariamente polietileno (PE) y polipropileno (PP) (alrededor del

60%) y en menor proporción están el poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC), polietileno-tereftalato (PET), poliestireno-butadieno (PS-BD), poli(metacrilato de metilo) (PMMA).

Se estima que a nivel internacional se recupera o recicla menos del 15% de los materiales plásticos residuales.

Muchas de las ventajas de los productos plásticos se convierten en una desventaja en el momento que se desecha el envase porque es descartable o bien cuando se tiran objetos de plástico porque se han roto. Si bien los plásticos podrían ser reutilizados o reciclados en su gran mayoría, lo cierto es que hoy estos desechos son un problema de difícil solución, fundamentalmente en las grandes ciudades. Es realmente una tarea costosa y compleja para los municipios encargados de la recolección y disposición final de los residuos, ya que a la cantidad de envases se le debe sumar el volumen que representan.

Dentro del total de plásticos descartables que hoy van a la basura urbana se destaca, en los últimos años, el aumento sostenido de los envases de PET, proveniente fundamentalmente de botellas descartables. Las empresas proveedoras de alimentos, vienen sustituyendo los envases de vidrio por los de plástico retornables en un comienzo, y no retornables posteriormente. Esta decisión implica un permanente cambio en la composición de la basura.

Además podrían mencionarse los packs (tienen un espesor importante) de las botellas plásticas, que se utilizan para facilitar el transporte. Debería utilizarse otro sistema, para evitar su uso que es enorme y estos plásticos en general son eliminados con los RSU y podrían ser reciclados. Debería diseñarse una nueva logística de transporte y reciclado involucrando a las empresas que los utilizan y a los fabricantes.

4. LOS PLÁSTICOS Y LA SALUD HUMANA Y AMBIENTAL

Los plásticos (en su gran mayoría macroplásticos) ingresan al ambiente tal cual es el producto original que llega al consumidor y que luego es desechado. Ya se ha mencionado en el punto anterior, el tipo de productos encontrados mayoritariamente en costas de lagos, ríos, mares y océanos.

Los envases de plástico descartables, destinados a contener alimentos, constituyen uno de los problemas más acuciantes de esta crisis global, porque se usan una sola vez y porque los productos químicos que

los integran pueden migrar hacia los alimentos y bebidas y están considerados como la mayor fuente de exposición humana a la contaminación ocasionada por los plásticos.

A pesar de que hay muchos estudios que revelan la migración de productos químicos usados en envases para comidas, son muy pocas las sustancias que se están investigando en este tipo de envases. Se conocen, por lo menos, 175 compuestos usados como aditivos en envases para comidas que podrían ser disruptores endocrinos, o tener acción mutagénica, carcinogénica, etc.

Las parafinas cloradas de cadena corta (SCCP, según sus siglas en inglés), son de uso muy frecuente como retardantes de llama (ignífugos) en plásticos de PVC, caucho, y materiales sintéticos para alfombrado. También se usan como plastificantes en pinturas y adhesivos, y se han encontrado niveles de SCCP mucho mayores que los permitidos en juguetes para niños, artículos para higiene personal, ropa, stickers, y utensilios de cocina.

Las SCCP se han incluido en el listado del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) para su prohibición, y recientemente también han sido examinados por el Comité de Investigación Científica de la Convención de Rotterdam recomendando se elimine su uso. Según un estudio reciente, las SCCP son los compuestos químicos persistentes de mayor producción mundial. Se ha demostrado fehacientemente su capacidad para transportarse a largas distancias y para bioacumularse, no obstante lo cual, la industria continúa su uso masivo como aditivo plástico, por lo cual es esperable que siga aumentando la exposición humana y del ambiente a las SCCP.

La gran incertidumbre y falta de conocimiento, impiden hacer una completa evaluación del impacto sobre la salud humana, como para que los consumidores, comunidades y organismos de control puedan realizar selecciones bien informadas. **Además, la extrema falta de transparencia con respecto a la composición química de la mayoría de los plásticos y los procesos por los cuales se producen, atentan contra una clara comprensión de la exposición total, y de su impacto sobre la salud humana y el ambiente. Por estas causas, se acumulan y aumentan los riesgos asociados con el impacto agudo y crónico en las distintas etapas del ciclo de vida de los plásticos.**

A pesar de su penetrante presencia y de su impacto, potencialmente muy significativo, muy poco se sabe sobre la distribución, transporte, degradación e impacto de los microplásticos en ambientes terrestres.

Sólo muy recientemente se ha comenzado a investigar su movilización a través de ecosistemas marinos y de las cadenas tróficas, como así también el impacto toxicológico/ecológico en cultivos agrícolas: la potencial transferencia de compuestos tóxicos a las cosechas y animales demanda una urgente y sostenida investigación. En el Anexo 9.2 se incluyen detalles de esta temática puntual.

Una evaluación del impacto sobre la salud humana y el ambiente, que tenga en cuenta solamente los componentes del producto, descartando los miles de aditivos y su evolución en cada etapa del ciclo de vida, es no solo incompleta sino también peligrosa. El conocimiento acumulado en estos últimos años, sobre el severo impacto de los plásticos, amerita la adopción de un enfoque precautorio sobre todo su ciclo de vida, y la decisión de reducir la producción global de plásticos y de sus usos.

En un workshop celebrado los días 27 y 28 de enero 2020, en Washington DC, (Ref: 22), se ha discutido acerca del desafío que implican actualmente las incertidumbres que van desde la adopción de los protocolos apropiados para la extracción de las muestras de microplásticos en las distintas matrices ambientales, las dificultades para conocer los tipos de aditivos incorporados a una micropartícula, hasta la correcta aplicación de las tasas en peso, en los estudios de riesgo para la salud humana.

5. GESTIONES A NIVEL INTERNACIONAL Y NACIONAL

Hasta el momento, los esfuerzos para reducir la crisis de contaminación plástica, han resultado poco fructíferos debido a una suma de factores. La escala y complejidad de los impactos, las limitaciones en los sistemas de evaluación de riesgos, el desconocimiento de los efectos acumulativos, la limitada información y datos sobre la exposición, las largas y complejas cadenas de proveedores, las formidables barreras financieras para mantener el “status quo”, y la desinformación de la industria ignorando (o aun negando) los efectos negativos, son las causas más importantes en este fracaso. Si bien los intereses económicos de la industria de los plásticos son enormes, también los costos a la sociedad son significativos. Se requieren muchas acciones, puesto que se sabe que constituyen una amenaza real a la vida humana. Es claro que una acción global es urgente para reducir la producción y consumo de plásticos y los muchos compuestos químicos tóxicos asociados.

Se debe reconocer que hace más de dos décadas que organismos internacionales tales como NNUU a través de sus órganos especializados como el PNUMA, la FAO y Entes regionales como la UNION EUROPEA

(UE), a través de su Agencia Ambiental (EEA) y el Parlamento Europeo (la European Commission), así como algunos países como Canadá y varias ONGs con vocación ambiental, vienen advirtiendo sobre el incremento significativo de las tasas de generación de residuos per cápita/año y promoviendo las pautas de una economía circular. Parecería que en los últimos años y sobre todo en el 2019, esos esfuerzos van cristalizando en acciones que abordan específicamente la gestión de los residuos plásticos.

Las Refs: 1 a 8 de la Bibliografía consultada, son indicadores de la preocupación de la UE en este aspecto. En enero de 2018, la UE adoptó la “Estrategia de gestión de plásticos en una economía circular” y en mayo del mismo año, la European Commission propuso regulación sobre diez productos de plástico de un solo uso (single use). Cada una de estas decisiones fueron acompañadas por documentos que difundieron los propósitos, las guías de buenas prácticas, restricciones al diseño y comercialización y las respuestas a las preguntas frecuentes, que contribuyeron a la información de los usuarios. Canadá adopta una decisión similar a la UE en cuanto a los productos de single-use a partir de enero de 2021. Esta decisión fue comunicada en junio de 2019.

Otro ejemplo de regulaciones recientes, es la puesta en vigor el 1° de enero de 2019, en Alemania de una nueva “Norma sobre Gestión de Envases y Embalajes”, aplicable a fabricantes o exportadores que reemplaza a la anterior vigente desde 1991. La nueva norma mantiene la responsabilidad extendida del productor (REP) a la gestión de los residuos y además obliga al rediseño de embalajes y envases, y a registrarse antes de colocar productos en el mercado que contengan embalajes o envases plásticos.

En Ginebra, en mayo de 2019, 187 países aprobaron medidas vinculantes para regular por primera vez el flujo internacional de residuos plásticos, y adoptaron una serie de decisiones destinadas a proteger la salud humana y el medio ambiente de los productos químicos y desechos peligrosos, aprovechando los convenios preexistentes.

En la Conferencia de las Partes de los Convenios de Basilea, el de Estocolmo y el de Rotterdam, los gobiernos modificaron el Convenio de Basilea *para incluir los residuos plásticos en un marco legalmente vinculante que hace que el comercio mundial de estos materiales sea más transparente y esté mejor regulado, al tiempo que garantiza una gestión más segura para la salud humana y el medio ambiente.*

El Convenio de Basilea aplica normativa sobre el transporte transfronterizo de residuos peligrosos, el Convenio de Estocolmo(CE) establece regulaciones sobre los Compuestos Orgánicos Persistentes (conocidos como POPs), obliga a los países productores a cesar la producción de un compuesto POP y a eliminar las existencias (“obsoletos”) de manera sustentable y, por su lado, el Convenio de Rotterdam (CR) establece un “alerta temprano”, para los países importadores de compuestos utilizados en general como plaguicidas, ya que el país exportador debe declarar los inconvenientes que pueden causar a la salud humana o al ambiente, de ese modo el país importador, puede tomar una decisión fundada antes de realizar la importación del producto. Los compuestos regulados por el CR se conocen como PICs (Prior Informed Consent).

Las Partes signatarias de estos tres acuerdos, (entre ellas la Argentina) han reconocido la conveniencia de impulsar la sinergia de los tres Convenios (BRE). Esta circunstancia debe ser tomada en cuenta y aprovechada al elaborar la estrategia de gestión de los residuos plásticos.

Otro hito significativo ha sido la creación de una nueva **Alliance to end Plastics Waste (AEPW)** para movilizar los recursos, intereses y experiencia de empresas y sociedad civil en favor de la implementación de las nuevas medidas, a fin de proporcionar apoyos prácticos a este acuerdo innovador, incluidas herramientas, mejores prácticas, asistencia técnica y financiera.

6. ALIANZAS ENTRE GRANDES EMPRESAS PRODUCTORAS DE ALIMENTOS, BEBIDAS, ETC. Y LAS PRODUCTORAS DE LOS PLÁSTICOS

El 17 de junio de 2019 se difunde una noticia publicada en el diario londinense The Guardian, referida al destino de los residuos plásticos que exportados por EEUU llegaban a Vietnam en contenedores (aprox. 83.000 tn), para un potencial reciclado, con dudosa posibilidad de que se pudiera efectuar. El periódico incluyó a otros países subdesarrollados, como destinatarios de 68.000 contenedores exportados desde EEUU en 2018. Esta situación hizo eclosión a fines de 2017 cuando China restringió fuertemente el ingreso de plásticos, salvo los más limpios y consecuentemente los que no lo eran fueron derivados a Malasia, u otros países del sudeste asiático. Ninguno de los países receptores, tenían posibilidad de efectuar correctamente el reciclado, ya que no lo hacían tampoco con sus propios residuos en un alto porcentaje, que variaba entre el 55% y el 85%.

Una iniciativa reciente relacionada con el material de envase es la denominada “Coalición de convertidores de empaques y de dueños de marca” para aumentar la producción de bolsas que pueden ser recicladas a través de cadenas existentes de reciclado de película de polietileno. Esta organización ha instituido una etiqueta (SPC: SINGLE PLASTIC CONSUME) para que los fabricantes de envases de fácil reciclado puedan añadir a sus productos y también apoya el desarrollo de tecnologías compatibilizadoras, que permiten que materiales de empaques de múltiples capas puedan ser reciclados en nuevos productos.

Conscientes de la terrible amenaza a los ecosistemas terrestres y marinos que representan los residuos de productos plásticos en el ambiente, las mayores empresas globales productoras de plásticos y otros compuestos químicos han suscrito en el 2019 la alianza ya mencionada, para terminar con la basura plástica (“*Alliance to end Plastic Waste*”, *AEPW*).

Alrededor de 40 empresas multinacionales tales como la Basf, Dow, Procter & Gamble, entre muchas otras, forman parte de esta alianza, que es una organización conformada por la comunidad financiera, y varias ONGs dedicadas a la protección ambiental. Su objetivo es promover un mundo libre de “basura” plástica, está constituida por todos los actores a lo largo de la cadena de valor: i.e. empresas que producen, utilizan, venden, procesan, recogen y reciclan plásticos. Esto incluye fabricantes de compuestos químicos y plásticos, compañías de bienes de consumo, revendedores y empresas que trabajan con gestión de residuos, consumidores, reciclado y disposición final de los productos usados y descartados, y cuenta con la colaboración estratégica del Consejo Mundial de Negocios para el Desarrollo Sustentable (World Business Council for Sustainable Development).

Esta nueva alianza comprometió una inversión inicial de mil millones de dólares y tiene el objetivo de asignar otros 1.500 millones de dólares durante los próximos cinco años. Esta Alianza global se propone desarrollar y llevar a escala recursos para minimizar y gestionar los residuos plásticos y promover soluciones para colaborar en lo que pueda permitir llegar a una economía circular para plásticos. Los miembros de la Alianza representan compañías globales y organizaciones localizadas en América del Norte y Sur, Europa, Asia, África y Medio Oriente.

Sus estudios revelan que el 90% de los plásticos en los océanos proviene mayormente de solo 10 ríos situados en países de Asia y África; el 80% proviene de residuos arrojados en sistemas terrestres. Según dicho

estudio, la mitad de ellos proviene de 5 países: China, Filipinas, Indonesia, Tailandia y Vietnam. A la luz de estos estudios la ONG para la “Conservación de los Océanos” (*Ocean Conservancy*) ha emprendido un ambicioso plan de acción para ayudar en la colecta de residuos y en las soluciones de reciclado en los países del sudeste asiático, incluyendo proyectos que aumenten la capacidad de organizaciones locales no gubernamentales, y de alianzas con líderes de las ciudades con el objetivo de desarrollar, escalar y replicar soluciones que se puedan implementar.

Entre sus objetivos inmediatos cabe mencionar:

- El desarrollo de infraestructura para recoger, tratar y reciclar basura plástica, especialmente en los países en desarrollo.
- Aplicar tecnologías innovadoras que minimicen la basura, hagan más fácil el reciclado y añadan valor a productos provenientes de plásticos descartados.
- Promover la educación y el compromiso a todos los niveles de gobierno y las comunidades para lograr urgentes acciones y movilización.
- Procurar la limpieza de áreas de alta concentración de basura plástica, especialmente los mayores canales de desperdicio, como ríos, que llevan los desechos plásticos de la tierra al océano, y de otros lugares cercanos a mares y océanos.

También el **Foro Económico Global (FEG ó WEF)**, desde su creación en setiembre de 2018, ha diseñado una estrategia de plan de acción global (“Global Plastic Action Partnership-GPAP”), para aconsejar a las empresas, la sociedad civil, los gobiernos locales y nacionales, grupos comunales y expertos de nivel mundial, con el objetivo de resolver la contaminación plástica. Esta alianza ha sido inicialmente financiada por los gobiernos de Canadá y el Reino Unido, y algunas grandes empresas multinacionales, con el objetivo de conseguir establecer soluciones viables hacia el 2020, que podrían ser entonces adaptadas e implementadas en otros países. Se ha comenzado, como primer proyecto, una colaboración con el gobierno de Indonesia.

Por otra parte, varias compañías fabricantes de plásticos están emprendiendo acciones, comprometiendo inversiones para ayudar a eliminar los residuos plásticos del ambiente y especialmente en los océanos. Por ejemplo, en octubre 2018, Dow se convirtió en una de las inversoras fundacionales de “*Circulate Capital*”, donando 100 millones de dólares para incubar y financiar compañías e infraestructura que prevengan residuos en los océanos. La misión de “*Circulate Capital*” es la de demostrar la viabilidad de la inversión en los sectores de gerenciamiento

de residuos y reciclado con el fin de atraer los capitales institucionales de inversión necesarios para poner en escala compañías de reciclado y gerenciamiento de residuos e infraestructura a lo largo y a lo ancho del sur y sudeste de Asia.

7. RECOMENDACIONES PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS PLASTICOS EN NUESTRO PAÍS

Con los datos y comentarios precedentes, intentaremos esbozar la estrategia que permita mejorar sustancialmente los resultados observados hasta el presente, los que sin duda han sido deficientes y significan un riesgo creciente para la salud humana y ambiental, si no se adoptan medidas en el corto plazo.

La gestión apropiada de estos residuos, cualquiera sea su origen o calificación, debe encararse integralmente, dando prioridad a las acciones que respeten la jerarquía de los mismos. En el documento ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA- INSTITUTO DEL AMBIENTE. “La Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos -Desafíos para una situación ambiental crítica”, (Ref: 16), se plantea la estrategia general a aplicar.

Este principio ya adoptado como metodología general debe seguir los siguientes pasos en el orden que se indica:

1. PREVENCIÓN
2. MINIMIZACIÓN - REDUCCIÓN
3. REUTILIZACIÓN
4. RECICLADO
5. VALORIZACIÓN con o sin recuperación energética
6. ELIMINACION - DISPOSICIÓN FINAL

En el caso particular de los plásticos, se ha mencionado que su participación en los RSU, está asociada preponderantemente a su uso en envases y empaques, principalmente de alimentos y bebidas, y en segundo lugar a la de herramientas o dispositivos electromecánicos o maquinarias. Comparten esa utilización en proporción similar con la de los papeles y cartones.

La PREVENCIÓN se debería enfocar en este caso, en dos aspectos esencialmente: En primer lugar en el DISEÑO DE EMBALAJES Y ENVASES, con la concepción de la economía circular y simultáneamente

con el fortalecimiento de los recursos para la investigación de nuevos materiales que puedan mejorar la eficacia de los pasos siguientes. La íntima relación entre el material de los envases de alimentos y la posibilidad de la transferencia de compuestos nocivos a éstos, amerita un trabajo conjunto entre los proveedores de los productos plásticos con las empresas del sector de la alimentación.

La MINIMIZACIÓN tiene vinculación con las pautas culturales, o hábitos de la población para lo cual son trascendentes las acciones de difusión que orienten los comportamientos a pautas que la favorezca. En este punto, la regulación y aún más la prohibición de algunos productos de un solo uso, como lo han hecho varios países, provincias o municipios con los sorbetes o utensilios en cafeterías o restaurantes y algunas empresas en forma voluntaria, puede colaborar en la minimización.

En la REUTILIZACIÓN, será necesaria la colaboración de los usuarios en la no contaminación de los residuos y también la existencia de una logística de separación del residuo de la corriente general y de la preparación del producto para su reutilización.

Del mismo modo, ambos condicionantes son imprescindibles para incrementar los porcentajes de RECICLADO. Es de citar que la ONG Ecoplas www.ecoplas.org.ar enuncia que del resultado de una reciente encuesta, surge que los ciudadanos argentinos en su mayoría consideran que el reciclado debería ser obligatorio, pero que no se lleva a cabo por la FALTA DE INFRAESTRUCTURA Y DE UNA ACTUALIZACIÓN DE LA LEGISLACIÓN.

Es un hecho que los programas de segregación de residuos y consecuente reciclado, son mucho más complejos en los grandes centros urbanos, que en las localidades pequeñas a medianas. El aporte de la educación ambiental, es nuevamente sustancial, independientemente del tamaño de la comunidad. De haber una adecuada segregación en origen, y una logística de transporte diferenciado, la tarea de los RECI-CLADORES URBANOS sería mucho más productiva.

Puesto en marcha el sistema municipal con estas pautas, la otra cuestión que es necesario considerar para la etapa de VALORIZACIÓN, son los costos asociados a todas las etapas de la gestión. Tanto para los sistemas de recolección transporte y disposición de los RSU en general, cuanto a los que se refieren a los llamados residuos universales, no se ha generado y utilizado una metodología uniforme de cálculo de costos.

Esa situación se ha dado también en las jurisdicciones donde se ha aplicado el programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU), que tuvo financiamiento del BID.

En el caso particular de los Residuos Plásticos, sería conveniente la aplicación de una normativa que contemple la **responsabilidad Extendida del Productor (REP)**, principio ya empleado desde hace varios años en los países de la UE, entre otros. De adoptarse para los plásticos, debería ser también aplicarse a los otros residuos calificados como universales, que en la actualidad integran los RSU, sin una regulación específica

En cuanto a las TECNOLOGÍAS DE VALORACIÓN, para los residuos plásticos, dado el alto poder calorífico de los mismos, hay una predisposición a orientarse a seleccionar la variante de recuperación de energía, mediante la incineración. En ese caso, los riesgos asociados a las emisiones gaseosas de productos tóxicos vinculados a los aditivos empleados en su fabricación (muchas veces desconocidos), ameritan un cuidadoso análisis ambiental, social y económico, previo a tomar decisiones.

En cuanto a la fase de ELIMINACIÓN O DISPOSICIÓN FINAL, sería óptimo que no llegara al relleno sanitario o sitio de disposición final, ningún residuo de esta naturaleza. A la fecha lamentablemente, la información que se dispone es que dada la muy baja tasa de reciclaje a nivel mundial, las dos terceras partes de los residuos plásticos terminan en el mejor de los casos en repositorios operados como parte de un sistema de gestión de RSU, y en la peor opción, en los cursos hídricos superficiales que los transportan a los océanos.

En cuanto a los embalajes y envases, y aquí volvemos al primer esca-lón de la jerarquía de los residuos, es necesario establecer un marco normativo, consistente en una Ley de Presupuestos Mínimos de Envases y Embalajes, que unifique criterios mínimos en todo el territorio nacional, a partir de la cual cada Provincia generará sus propios procedimientos que serán aplicados por los municipios, quienes tienen la competencia local en la gestión.

La normativa propuesta, debería incluir el criterio de la responsabilidad extendida del productor (REP), en el mismo texto legal u otro según sea conveniente, pero dada la incidencia que la incorporación de este conjunto normativo, tendrá en la comercialización y en la puesta en el mercado de una cantidad de productos, será necesario que contengan obligatoriamente, el criterio de gradualidad y de progresividad.

Esta condición es una señal tanto para los productores de productos plásticos, como para los organismos de aplicación del nivel nacional provincial y local, para adecuar sus organizaciones propias como la de las organizaciones sociales a la nueva modalidad.

El Estado debe disponer los recursos humanos y económicos para poder cumplir con su rol de garante del sistema de gestión que se implemente, pero dada la complejidad de la temática, es imprescindible que todos los sectores de las comunidades, participen activamente en el diseño y luego en la aplicación de las medidas conducentes. Ambos sectores, el público y el privado, requerirán de un lapso para adecuarse a la nueva normativa.

Las empresas, ya han comenzado el proceso de reconversión tecnológica, en el marco de la economía circular, impulsada fuertemente a nivel global. Corresponde que el Estado en todos sus niveles, aplique sin demoras una estrategia integral de gestión de los residuos plásticos, aprovechando las experiencias positivas que se han dado con la participación de los recicladores urbanos en la recuperación de papeles y cartones, utilizando los calificados recursos humanos disponibles en Institutos de Investigación y desarrollando un programa de comunicación a los usuarios, que aproveche la predisposición de la comunidad en general de participar en una iniciativa de alcance global, como es la de la economía circular.

Para concluir, y dada la complejidad planteada con la incorporación al ambiente de microplásticos, y de plásticos que a través de procesos físico-químicos o biológicos generen una diseminación global de microplásticos, es imperioso que tanto en el sector académico como en el de los institutos de investigación del país, se intensifiquen los estudios referidos al riesgo que para la salud humana y ambiental, tienen estas micro-partículas y se disponga de las respuestas a los interrogantes planteados en este documento.

8. ANTECEDENTES CONSULTADOS

1.- European Commission: Single use plastics-impact –assessment: proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the reduction of the impact of certain plastics products on the environment- Brussels, 28 /05/2018-SWD(2018)254 Final (33 pag.)

2.-European Commission-DGENV- Plastic waste in the environment-Specific Contract with Bio-Intelligence Services- Revised Final Report- April 2011.

3.-European Commission-Directiva 94/62 EC on packaging and packaging waste.

4.- European Commission_ Libro verde sobre una estrategia europea frente a los residuos plásticos en el medio ambiente/ Documento 520 13D CO123*/+COM/2013/0123 Final.- Consultado en EUR Lex el 27/10/2019.

5.-EEA- European Environmental Agency-“What are European countries doing to tackle plastic waste?” www.europe-eu Junio 2019.

6.-European Commission: Fact Sheet- Brussels 28/05/2018. Single use plastics. New EU rules to reduce marine litter.

7.-EEA Report N° 02/2019 Preventing Plastic Waste in Europe (62 pag.) ISBN-978-92-9480-194-4 www.eea.europe.eu/publications.

8.-European Commission. Assessment of measures to reduce marine litter from single use plastics. Final Report and Annex- ICF Eunomia – 30 may 2018 – Job number J320301241 www.icf.com

9.-American Chemical Council (ACC)- / The Association of Plastics Recyclers (APR)- “2018 Unites States national Postconsumer Plastic Bottle Recycling Report www.plasticsrecycling.org www.americanchemistry.com

10.-National Academy of Science-NNUU para el Medio Ambiente-Nairobi-“Tackling Marine Debris in the 21Century” 2009

11.-UNEA -4a Asamblea de NNUU para el Medio Ambiente- Nairobi 11 al 15 de marzo de 2019. Documentos preparatorios de la reunión.UNEP/EA.4/3 “Towards a Pollution Free Planet”. UNEP/EA. 4/11 “Análisis de los compromisos voluntarios aplicables a la basura marina y los microplásticos, de conformidad con la Res 3/7.

12.-SAyDS. Informes del estado del ambiente –Años 2017 y 2018. Capítulo de Residuos

13.-CIEL- Center for international Environmental Law- “Plastic and Health. The Hidden Costs of a Plastic Planet”-Febrero 2019 www.ciel.org/plasticandhealth

14.-ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. “The new plastic economy. The rethinking the future of plastics and Catalysing Action” 2017. Charity Registration N° 1130306, OSCR Registration N° SCO43120, Company N°6897785. www.ellenmacarthurfoundation.com

15.-INCAPE-Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (UNL-CONICET) Ulises Sedrán- “Reciclado Energético de Plásticos: co-procesamiento en refinerías y craqueo térmico” 05/01/2017

16-ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA- INSTITUTO DEL AMBIENTE. La Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos -Desafíos para una situación ambiental crítica. Año 2018 - Disponible en www.acadning.org.ar

17.-AEPW-Alliance to end plastics Waste. Sustainable Packaging Coalition. Programa Hefty Energy Bag.

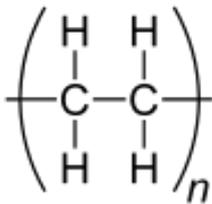
- 18.- Nueva Norma Alemana, sobre gestión de envases y embalajes. Enero 2019
- 19.- ARC- Waste Agency of Catalonia- “Regional Act Plan on SCP in the mediterranean – Convención de Barcelona -2016- Acuerdo de ocho países.
- 20.-UNEP- Iniciativa Global del plástico en el Turismo al 2022.
- 21.-Global Plastics Association for Solutions on Marine Litter- 4° Progress Report - March 2018 www.marinelittersolutions.com
- 22.-NASEM- National Academy of Science, Engineering and Medicine. –Workshop “Emerging technologies to Advance Research and Decisions on the Environmental Health Effects of Microplastics”, 27-28 enero 2020 -Washington DC. Slides de las presentaciones al evento, disponibles en: www.nas-sites.org/emergingscience/environmental-health-effects-of-microplastics
- 23.- ANCFEN- Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. “Los residuos que generamos. Su manejo sustentable, un gran desafío- Capítulo 2: Reciclado de plásticos y economía circular -2019. www.ancfen.org.ar
- 24.- José M Arandes, Javier Bilbao, Danilo López Valerio. Reciclado de residuos plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros* Volumen 5(1), 28-45,(2004)
- 25.-José Aguado, David P. Serrano, José María Escola, Laura Briónes. El papel de la Química en la valorización de los residuos plásticos. *Anales. Quím.*, 107(1), 76–83. (2011)
- 26.-S.M. Al-Salem, P. Lettieri, J. Baeyens. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Management* 29 , 2625–2643 (2009)
- 27.- ONU-AMBIENTE - Perspectiva de la Gestión de los Residuos en América Latina y el Caribe- Editor Jefe: Atilio Savino- Octubre 2018
- 28.- CEAMSE- UBA Facultad de Ingeniería: “Estudio de los RSU de la CABA – Año 2015”
- 29.- I. A. Kane et al, Science 10.1126/science.aba5899 (2020). Sea-floor microplastic hotspots controlled by deep-sea circulation. www.sciencemag.org

9. ANEXOS

ANEXO 9.1. DESCRIPCIÓN DE ALGUNOS TERMOPLÁSTICOS

El mercado está dominado por los siguientes tipos de materiales termoplásticos: polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), tereftalato de polietileno (PET), poliestireno (PS), los cuales se describen brevemente a continuación.

POLIETILENO (PE) es químicamente el polímero más simple. Se representa con su unidad repetitiva $(\text{CH}_2\text{-CH}_2)_n$. Es uno de los plásticos más comunes debido a su bajo precio y simplicidad en su fabricación, lo



que genera una producción de aproximadamente 80 millones de toneladas anuales en todo el mundo. Es químicamente inerte; se obtiene de la polimerización del etileno (de fórmula química $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ denominado *eteno* por la IUPAC, del que deriva su nombre).

Polietileno El Polietileno de alta densidad (**PEAD**) o como se lo conoce por su sigla en inglés HDPE es un polímero termoplástico de cadena lineal no ramificada formado por unidades de etileno que se polimeriza a bajas presiones; su densidad se encuentra entre 0,94 y 0,97 g/cm³.

El mercado mundial de PE alcanzó un volumen mayor a 30 millones de toneladas.

Sus propiedades son: alta resistencia química y térmica, resistente a impactos. Presenta facilidad de procesamiento. Flexible, pero con rigidez; ligero; impermeable e higiénico; Resistente al agua, a ácidos y a varios disolventes.

Aplicaciones del Polietileno de alta densidad: Envases para detergentes, lejía, aceites, champú lácteos; juguetes; cajones para botellas; envases para pintura, aceites; tambores; tuberías para gas, telefonía, agua potable, minería, y uso sanitario. También se usa para recubrir lagunas, canales, fosas de neutralización, depósitos de agua, recubrimientos interiores de depósitos, plantas de tratamiento de aguas, lagos artificiales.

Polietileno de baja densidad (PEBD); sigla en inglés (LDPE), es un polímero termoplástico formado por unidades de etileno que se produce mediante polimerización por radicales libres. Tiene una estructura

de cadenas muy ramificadas que conduce a una baja densidad (0,91-0,94 g/cm³). LDPE tiene menos resistencia a la tracción pero mayor ductilidad que el HDPE. Esta propiedad hace que el LDPE sea particularmente útil para una amplia gama de aplicaciones, desde productos rígidos como botellas de plástico y cuencos hasta películas y bolsas.

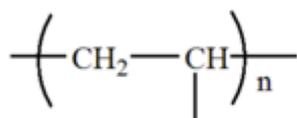
Sus propiedades son: alta resistencia química y térmica; resistencia a los impactos; facilidad de procesamiento; flexibilidad, mayor que el PEAD. Puede ser transparente u opaco, dependiendo de su espesor; tiene dificultades para que se pueda imprimir, pintar o pegar sobre su superficie

Aplicaciones del Polietileno de baja densidad: Bolsas de todo tipo; películas para actividades agropecuarias; envasado automático de alimentos y productos industriales; contenedores herméticos domésticos; tubos para cosméticos, medicamentos y alimentos; tuberías para riego.

El polietileno puede formar una red tridimensional cuando éste es sometido a una reacción covalente de vulcanizado (cross-linking en inglés). El resultado es un polímero con efecto de memoria. El efecto de memoria en el polietileno y otros polímeros consiste en que el material posee una forma estable o permanente y a cierta temperatura, se puede obtener una forma temporal que puede ser modificada. Otros polímeros que presentan el efecto térmico de memoria son: poliuretanos, poliestireno modificado y casi cualquier polímero o copolímero que sea cristalino o amorfo que pueda formar una red tridimensional.

Otras aplicaciones de PE incluyen un compuesto de harina de madera y PE en porcentajes que van desde 10% hasta el 70% de madera en peso.

POLIPROPILENO (PP) es un polímero termoplástico, parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno (o propeno). Pertenece al grupo de las poliolefinas y es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen empaques para alimentos,



Polipropileno

tejidos, equipo de laboratorio, componentes automotrices y películas transparentes. Tiene gran resistencia contra diversos solventes químicos, así como contra álcalis y ácidos. Las macromoléculas de polipropileno contienen de 5000 a 20000 unidades monoméricas. El arreglo estérico de los grupos metilo (-CH₃) unidos en cada átomo de carbono secundario, puede variar.

Si todos los grupos metilo se ubican en el mismo lado de la cadena molecular, el producto se conoce como polipropileno "isotáctico". Solamente el polipropileno isotáctico cumple con los requisitos necesarios para uso en la fabricación de artículos sólidos. La estructura estéreo-regular favorece el desarrollo de regiones cristalinas. En las piezas moldeadas se obtiene una cristalinidad del 50 al 70%, dependiendo de las condiciones de procesamiento. Las cadenas moleculares raramente se incorporan en su totalidad a los dominios cristalinos, ya que contienen partes no isotácticas, y por lo tanto, incapaces de cristalizar. Es por eso que se usa el término "parcialmente" cristalinos. La estructura cristalina da origen a alta resistencia y rigidez a partir de las fuerzas secundarias, mientras que las regiones desordenadas amorfas retienen una gran movilidad. Su temperatura de fusión es de 173°C.

El PP tiene un grado de cristalinidad intermedio entre el polietileno de alta y el de baja densidad, su densidad es aproximadamente 0,9 y 0,91 g/cm³.

El PP ha sido uno de los plásticos con mayor crecimiento en los últimos años y se prevé que su consumo continúe creciendo más que el de los otros grandes termoplásticos. El PP es transformado mediante diferentes procesos

- a. Moldeo por inyección de una gran diversidad de piezas, desde juguetes hasta paragolpes de automóviles;
- b. Moldeo por soplado de recipientes huecos como por ejemplo botellas o depósitos de combustible;
- c. Termo-formado de contenedores de alimentos. En particular se utiliza PP para aplicaciones que requieren resistencia a alta temperatura (microondas) o baja temperatura (congelados);
- d. Producción de fibras, tanto tejidas como no tejidas;
- e. Extrusión de perfiles, láminas y tubos.

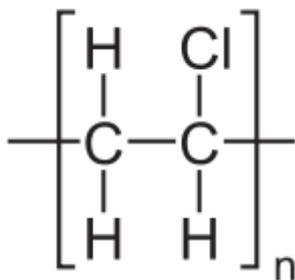
Se ha usado PP en formato de filamento para la impresión 3D. En lo referente a producción de películas, la película de polipropileno biorientado (BOPP), es la más extendida. Existe la película moldeada ("cast film") y la película soplada ("blown film"), constituyendo un mercado en rápido crecimiento

El PP es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen empaques para alimentos, tapas de botellas plásticas, tejidos, equipo de laboratorio, componentes automotrices y películas transparentes. Tiene gran resistencia a diversos solventes químicos, así como a

álcalis y ácidos

Una gran parte de los PP son aptos para contacto con alimentos y una minoría puede ser usada en aplicaciones médicas (mallas quirúrgicas para tratamiento de hernias), o farmacéuticas. Es resistente al uso y a los agentes químicos; es resistente al agua hirviendo y a los detergentes. Tiene un costo relativamente bajo, es fácil de moldear y colorear y presenta buena estabilidad térmica.

POLICLORURO DE VINILO (PVC) es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo. Es el derivado del plástico más versátil.



PVC

Se presenta como un material blanco que comienza a reblandecer alrededor de los 80 °C y se descompone por arriba de 140 °C. Tiene una muy buena resistencia eléctrica y a la llama. El átomo de cloro enlazado a uno de cada dos átomos de carbono le confiere características amorfas principalmente e impiden su recristalización. PVC es el tipo de plástico más versátil.

En la industria existen dos tipos de PVC.

i) **Rígidos**: para envases, ventanas, puertas, tuberías, las cuales han reemplazado en gran medida al hierro (que se oxida más fácilmente).

ii) **Flexibles**: que se usa en cables, juguetes, calzados, pavimentos, recubrimientos, techos tensados. El PVC se caracteriza por ser dúctil y tenaz; presenta estabilidad dimensional y resistencia ambiental. Además, es reciclable por varios métodos.

Propiedades: puede ser tanto rígido como flexible, según su proceso de producción; dúctil y tenaz y con alta resistencia ambiental; baja densidad, alta resistencia a la abrasión y al impacto; estable e inerte: higiénico; no se quema con facilidad; es eficaz para aislar cables eléctricos; Bajo costo de instalación; resistencia a la corrosión; reciclable

- Tiene una elevada resistencia a la abrasión, junto con una baja densidad (1,32 -1,42 g/cm³), buena resistencia mecánica y al impacto, lo que lo hace común e ideal para la edificación y construcción.
- Al utilizar aditivos tales como estabilizantes, plastificantes entre otros, el PVC puede transformarse en un material rígido o flexible, característica que le permite ser usado en un gran número de

aplicaciones.

- Es estable e inerte por lo que se emplea extensivamente donde la higiene es una prioridad, por ejemplo los catéteres y las bolsas para sangre y hemoderivados están fabricadas con PVC, así como muchas tuberías de agua potable.

- Es un material altamente resistente, los productos de PVC pueden durar hasta más de sesenta años como se comprueba en aplicaciones tales como tuberías para conducción de agua potable y sanitarios; de acuerdo al estado de las instalaciones se espera una prolongada duración del PVC así como ocurre con los marcos de puertas y ventanas.

- Debido a los átomos de cloro que forman parte del polímero, el PVC no se quema con facilidad ni arde por sí solo y cesa de arder una vez que la fuente de calor se ha retirado. Los perfiles de PVC empleados en la construcción para recubrimientos, cielorrasos, puertas y ventanas, presentan poca inflamabilidad.

- Se emplea eficazmente para aislar y proteger cables eléctricos en el hogar, oficinas y en las industrias debido a que es un buen aislante eléctrico.

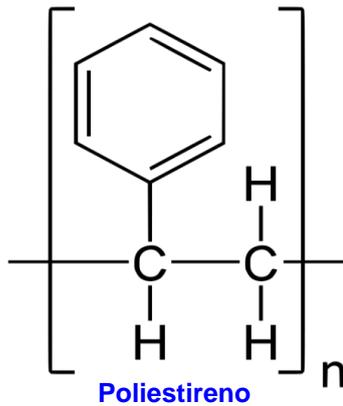
- Se vuelve flexible y moldeable sin necesidad de someterlo a altas temperaturas (basta unos segundos expuesto a una llama) y mantiene la forma dada y propiedades una vez enfriado a temperatura ambiente, lo cual facilita su modificación.

- Alto valor energético. Cuando se recupera la energía en los sistemas modernos de combustión de residuos, donde las emisiones se controlan cuidadosamente, el PVC aporta energía y calor a la industria y a los hogares.

- Amplio rango de durezas.
- Resistente al agua.
- Rentable. Bajo costo de instalación.
- Es muy resistente a la corrosión

POLIESTIRENO (PS) es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno monómero. Existen cuatro tipos principales: el PS cristal o GPPS (del inglés: General Purpose Polystyrene), que es transparente, rígido y quebradizo; el poliestireno de alto impacto o HIPS (del inglés: High Impact Polystyrene), es fuerte, resistente al impacto y opaco blanquecino; el poliestireno expandido o EPS (del inglés: Expandable Polystyrene; PSE en francés), muy ligero; y el poliestireno extruido, similar al expandido pero más denso e impermeable.

Las aplicaciones principales del PS antichoque y el PS cristal son la fabricación de envases mediante extrusión-termoformado, y de objetos diversos

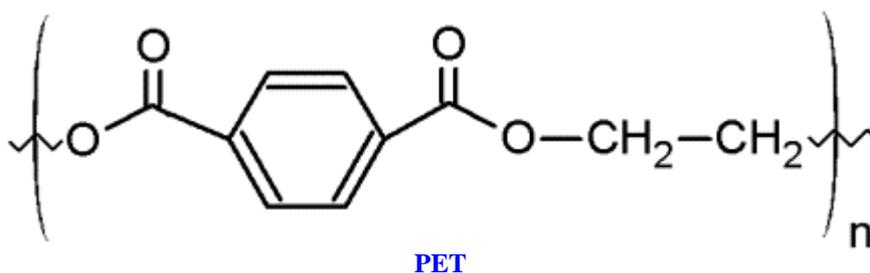


Mediante moldeo por inyección. Las formas expandida y extruida de PS se emplean principalmente como aislantes térmicos en construcción y para formar coquillas de protección en los embalajes de objetos frágiles para protegerlos. El EPS también es utilizado para la producción de cajas o neveras para el transporte de vacunas, por su capacidad aislante.

La primera producción industrial de poliestireno cristal fue realizada por BASF, en Alemania, en 1930. El PS expandido y el PS antichoque se produjeron en las décadas siguientes. Desde entonces los procesos de producción han mejorado sustancialmente y el poliestireno ha dado lugar a una industria sólidamente establecida. Con una demanda mundial de unos 10,6 millones de toneladas al año el poliestireno es hoy el cuarto plástico más consumido, por detrás del polietileno, el polipropileno y el PVC.

POLIETILEN TEREFALATO (PET, PETE), es un polímero plástico, lineal, con alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento, lo cual lo hace apto para ser transformado mediante procesos de extrusión, inyección, inyección-soplado y termoformado.

Es extremadamente duro, resistente al desgaste, dimensionalmente estable, resistente a los productos químicos y tiene buenas propiedades dieléctricas.



El PET se obtiene mediante la condensación del etilenglicol y el ácido tereftálico.

Se pueden distinguir tres tipos fundamentales de PET, *el grado textil*, *el grado botella* y *el grado film*. *El grado textil* fue la primera aplicación industrial del PET. Durante la Segunda Guerra Mundial, se usó

para reemplazar las fibras naturales como el algodón o el lino. Al poliéster (nombre común del PET grado textil), se le reconocieron excelentes cualidades desde un inicio para el proceso textil, entre las que se encuentran su alta resistencia a la deformación y su estabilidad dimensional, además del fácil cuidado de la prenda tejida (lavado y secado rápidos sin necesidad de planchado). Entre algunas limitaciones que presenta este material son: difícil tintura, y la acumulación de electricidad estática, problemas para los que se han desarrollado soluciones eficaces.

El *grado botella* se comenzó a producir en Europa a partir de 1974 y su primera comercialización se llevó a cabo en USA. Desde entonces ha experimentado un gran crecimiento y una continua demanda, debida principalmente a que el PET ofrece características favorables en cuanto a resistencia contra agentes químicos, gran transparencia, ligereza, menores costos de fabricación y comodidad en su manejo. La más reciente y exitosa aplicación del PET, es el envasado de aguas minerales, también se ha comenzado a utilizar en el envasado de productos farmacéuticos, de droguería o alimenticios como salsas, mermeladas, miel.

El PET *grado film*, se utiliza en gran cantidad para la fabricación de películas fotográficas, de rayos X y de audio.

En síntesis PET es un tipo de plástico muy usado en bebidas y textiles. Sus propiedades más importantes son: alta transparencia, admite colorantes; alta resistencia; buena barrera al dióxido de carbono CO₂ y a la humedad; es compatible con otros materiales; es reciclable; impermeable; y aprobado su uso para contacto con productos alimentarios

ANEXO 9.2

RIESGO AMBIENTAL PARA LA SALUD HUMANA

Como los plásticos se sintetizan a partir de monómeros que se polimerizan para formar cadenas de macromoléculas, a lo largo de su ciclo de vida pueden ir liberando monómeros sin reaccionar y algunos de ellos son compuestos químicos tóxicos. En particular, los plásticos provenientes de monómeros que son carcinogénicos son: PUR (usado para la fabricación de “goma pluma” flexible para colchones, alfombras, etc.); PVC (para cañerías, cubierta de cables, empaques, etc.); resina epoxi (recubrimientos, adhesivos, y otros productos); y PS (envases para alimentos, CD, y otros productos). Debe considerarse, además, el bisfenol-A (BPA), una molécula usada como plastificante, que se libera como monómero sin reaccionar de los plásticos policarbonatos, y de las resinas epoxi que se usan, por ej., en latas para bebidas.

Entre las sustancias más estudiadas se incluyen:

BPA, (migra de envases de policarbonato para botellas de agua, o de latas recubiertas con resinas epoxi);

Ftalatos (diisononilftalato (DiNP) y DEPH, usados como plastificantes, se producen en muy alto volumen);

di(2-etilhexil)adipato (DEHA, carcinogénico, usado como plastificante en envoltorio para carnes);

4-nonilfenol (producto de degradación del antioxidante fosfito de tris(nonil-fenol) (TNPP), usado en envoltorios para comidas);

Estireno (monómero usado para la fabricación del poliestireno; los productos per- y polifluoralquilos (PFAS, muy utilizados, entre otras cosas, para procurar una barrera a la grasa en envoltorios para comida rápida).

En EEUU hay 4000 compuestos químicos aprobados para poder usarse como aditivos para envases de comida, pero en menos de 1000 se han evaluado sus posibles riesgos para la salud humana. En la Unión Europea, los productores de envases para comida deben garantizar la inocuidad de sus productos ya sea de compuestos químicos añadidos, o de impurezas, o de posibles compuestos que podrían migrar. De todos modos, es muy difícil rastrear la presencia de sustancias que no han sido añadidas intencionalmente.

Una iniciativa liderada por el Foro Mundial de Envases para comidas está compilando una base de datos de este tipo de compuestos con información sobre su posible daño a la salud humana y/o al ambiente. Ac-

tualmente, esta base de datos contiene más de 4000 compuestos posiblemente asociados con envases plásticos de los cuales 148 se ha probado que son altamente dañinos para la salud humana. Los riesgos más severos provienen de metales pesados (cadmio, plomo), bifenoles, ftalatos y compuestos PFAS: dos de ellos PFOS y PFOA son extremadamente persistentes en el ambiente, y pueden acumularse en la cadena trófica. Los PFAS se usan para formar una barrera a la grasa en envoltorios para alimentos, envases para comida rápida y bolsas para microondas (pochoclo, por ej.). Como resultado de estos estudios la FDA y la industria decidieron suprimir estos compuestos y reemplazarlos por otros PFAS, pero toxicólogos ambientales han manifestado que las alternativas también tienen efectos dañinos. PFOS y PFOA han sido declarados como POPs por el Convenio de Estocolmo y un tercero, el ácido perfluorohexanesulfónico está en estudio por el POPRC (ver acciones internacionales más abajo). La Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OECD) identificó 4730 sustancias PFAS, y las recomendaciones recientes del POPRC son no usar ninguna de estas alternativas debido a su alta persistencia y movilidad, a su efecto dañino para la salud humana y el ambiente, y al fuerte impacto socioeconómico.

MICROPLASTICOS EN EL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Investigadores de la Universidad del Estado de New York analizaron 159 muestras de agua de grifo de 14 países, mitad de países desarrollados y mitad en vías de desarrollo. El 81% de las muestras tenían de 0 a 61% de microplásticos/litro. Las muestras provenientes de los EEUU fueron las que tenían el valor más alto (en promedio 9.24 partículas/litro), mientras que las naciones de la UE mostraban 4 de los valores más bajos. Curiosamente, el agua proveniente de los países desarrollados tenía una mayor densidad de partículas/litro (6.85), mientras que los países en desarrollo mostraban una menor densidad (4.26). El 99% de las partículas encontradas eran fibras.

OrbMedia realizó luego un estudio semejante de agua envasada con los mismos investigadores. Se analizaron 259 botellas provenientes de 11 marcas líderes de 19 lugares. Se encontraron microplásticos en el 93% de las botellas, con un promedio de 325 partículas/litro. El plástico identificado en el agua envasada incluyó polipropileno, nylon y PET. El estudio reveló una densidad promedio de 10.4 partículas/litro, aproximadamente el doble del encontrado en agua de grifo. Llamativamente, el agua conocida como *Nestlé Pure Life Water*, tenía la más alta densidad de microplásticos, un promedio de 2.247 partículas/litro, mientras

que una botella de agua de Nueva Delhi (India) contenía la menor densidad de microplásticos, un promedio de 3,72 partículas/litro.

La noción de que el plástico proveniente del propio envase del agua podría contribuir a los microplásticos encontrados, fue confirmada por un estudio realizado en Alemania en 2018, con agua envasada en botellas de plástico, de vidrio y de cartón, en todas se encontraron microplásticos. Analizaron agua de 22 diferentes envases plásticos: retornable y de uso descartable, 3 cartones y 9 botellas de vidrio. Utilizaron espectroscopía Raman que es capaz de detectar partículas muy pequeñas, observaron que el 80% de todos los microplásticos tenían un tamaño promedio de 5-20 micrones, y por lo tanto no eran detectables por las técnicas usadas en los estudios anteriores. Los mayores niveles se determinaron en las botellas de plástico retornables (718+88 partículas/litro), en las botellas de plástico descartables fue menor (14+14), también en los envases de cartón (11+ 8) y en las botellas de vidrio (50+52 partículas/litro). La mayor parte de microplásticos que se encontró en el agua envasada en las botellas retornables fueron poliésteres (mayormente PET, 84%, y PP 7%). Esto no sorprende dado que las botellas están fabricadas con PET y las tapas con PP

IMPACTO EN LA SALUD HUMANA

Se ha demostrado ampliamente que el ser humano está expuesto a numerosos productos tóxicos provenientes de la existencia de plásticos en el ambiente, los alimentos, etc., la mejor medida de evaluar su impacto es el biomonitoreo de estos compuestos, sus metabolitos u otras reacciones específicas en sangre y orina. El Centro para el control de la Salud y Nutrición Nacional de los EEUU, realizó en 2009-2010 una encuesta muy comprehensiva de la exposición de la población a compuestos químicos. Encontraron BPA en el 92% de orina de niños (>6 años) y adultos. Se detectaron 10 de los 15 ftalatos en todas las muestras y 4-nonilfenol en el 51% de la población. Otros estudios también demostraron que BPA es muy común en sangre y otros tejidos.

Estudios similares se están llevando a cabo en otras partes del mundo. Un trabajo realizado por la Universidad de Viena y la Agencia Ambiental de Austria analizó muestras de participantes de Finlandia, Italia, Japón, Países Bajos, Polonia, Rusia, Inglaterra y Austria: todas las muestras dieron resultado positivo de presencia de microplásticos y fueron detectadas hasta 9 tipos de residuos plásticos.

Poco se sabe aún de los efectos tóxicos de los microplásticos

en la salud humana. Un review reciente informa que pueden causar inflamación (ligada al cáncer, enfermedades del corazón, artritis reumatoidea, entre otros), genotoxicidad (daño a la información genética de la célula que puede llevar a mutaciones) stress oxidativo (que puede llevar a enfermedades crónicas como la diabetes, aterosclerosis, artritis reumatoidea, daño posterior a la perfusión post-isquemia, infarto miocardio, etc.) apoptosis (muerte celular asociada con cáncer, enfermedad autoinmune, y neurodegeneración).

Todos los plásticos contienen especies de oxígeno reactivo (ROS) o radicales libres. Los ROS son moléculas inestables que contienen oxígeno y reaccionan muy fácilmente con otras moléculas en una célula. La *fotodegradación* de plásticos y/o la interacción con metales pesados puede provocar la formación de radicales libres, si éstos se forman en las células puede causar daños en el DNA, RNA y en las proteínas lo que podría llevar a la muerte celular. Se ha informado que el daño asociado con la formación de radicales libres puede provocar enfermedades inflamatorias y cardiovasculares, cataratas y cáncer. La degradación de plásticos en implantes prostéticos puede llevar a que los microplásticos entren al tracto gastrointestinal o al sistema pulmonar, produciendo inflamaciones como la principal respuesta del organismo. Se ha observado que partículas de PE y PET, provenientes de la ropa que se usa, pueden ingresar al cuerpo y moverse a través del sistema linfático, el hígado y el bazo. Las partículas de PE se acumulan en los ganglios linfáticos, y pueden ser tan abundantes que lleguen a causar inflamaciones muy severas.

Cada vez es mayor la evidencia de que los microplásticos llegan al cuerpo humano a través del agua que bebemos, el aire que respiramos y la comida que ingerimos. En todo el mundo, la inmensa mayoría de la población se ve expuesta a estos compuestos químicos sin saberlo ni consentirlo, dado que los compuestos químicos utilizados en los envoltorios y envases plásticos no aparecen en el listado de ingredientes de los productos que el consumidor adquiere.

La exposición ambiental a través de los suelos de cultivos agrícolas, la cadena trófica en especies terrestres y marinas, y de las fuentes de agua está creciendo constantemente. Una vez que un plástico llega al ambiente, ya sea en forma de macro o microplástico, contamina la cadena trófica, se acumula, y puede ir liberando aditivos tóxicos, o concentrando compuestos tóxicos adicionales. Así los microplásticos vuelven a estar nuevamente biodisponibles para la exposición humana, ya sea por vía directa o indirecta.

ANEXO 9.3.

TECNOLOGÍAS DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS

Existen tres alternativas para la valorización de residuos plásticos:

- 1) Incineración con Recuperación Energética;
- 2) Reciclado Mecánico;
- 3) Reciclado Químico.

1. INCINERACIÓN CON RECUPERACIÓN ENERGÉTICA

El plástico puede constituirse en un excelente combustible. Desde la perspectiva de recuperación de energía de los materiales plásticos, poseen un elevado poder calorífico (PE, 43 MJ/kg; PP, 44 MJ/kg; PS, 40 MJ/kg; PVC, 20 MJ/kg.) en comparación con el petróleo (42.343 MJ/kg) (Ref : 24)

La recuperación energética es un proceso adecuado para plásticos no reciclables, degradados o sucios.

La incineración es un proceso de tratamiento térmico de residuos mediante oxidación completa y a temperaturas superiores a 850°C y su transformación en una corriente gaseosa .La incineración con recuperación energética, se realiza en hornos apropiados con aprovechamiento de la energía producida.

En general, se considera que la incineración de los residuos plásticos sólidos produce una reducción de volumen del 90-99%. En el proceso de recuperación de energía, la destrucción de residuos plásticos también destruye los CFC y otros agentes nocivos presentes.

La presencia de retardantes de llama (compuestos organobromados que tienen un efecto inhibitor en la combustión de materiales orgánicos actuando como reductores de la inflamabilidad de los productos) complica los aspectos técnicos de la recuperación de energía.

Varias preocupaciones ambientales están asociadas con los residuos plásticos principalmente la emisión de ciertos contaminantes del aire

como CO₂, NO_x y SO_x y también se sabe que la combustión genera compuestos orgánicos volátiles (COV), humo (partículas), metales pesados unidos a partículas, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), dibenzofuranospoliclorados (PCDF) y dioxinas. Se han identificado sustancias cancerígenas (HAP, nitro-HAP, dioxinas, etc.) en partículas en el aire por incineración o combustión de polímeros sintéticos como PVC, PET, PS y PE.

La captura y eliminación de gases de combustión en procesos térmicos (en general) y de combustión (en particular) es un problema importante que se aborda mediante (i) adición de amoníaco a la cámara de combustión, (ii) enfriamiento de gases de combustión, (iii) neutralización de ácidos, (iv) adición de carbón activado y / o (v) filtración. (Al Salem y col., 2009)

La combustión debe estar sujeta a estrictos controles medioambientales, para neutralizar los residuos sólidos y los efluentes gaseosos (como cloruro de hidrógeno de la combustión del PVC, o dioxinas, furanos, gases ácidos, material particulado, etc.). Este tipo de instalaciones son técnicamente complejas y están diseñadas y explotadas de acuerdo con requisitos legales muy estrictos.

2. RECICLADO DE PLÁSTICOS

Los desechos plásticos no son susceptibles de asimilarse de nuevo en la naturaleza. Debido a esto, se ha establecido el reciclado de los productos de plástico, lo que consiste básicamente en recolectarlos, limpiarlos, seleccionarlos por tipo de material y fundirlos de nuevo para su uso como materia prima adicional, alternativa o sustituta, para el moldeado de otros productos.

De esta forma se ha encontrado una forma adecuada para luchar contra la contaminación de productos que por su composición, materiales o componentes, no son fáciles de desechar de forma convencional.

Se pueden salvar grandes cantidades de recursos naturales no renovables cuando en los procesos de producción se utilizan materiales "reciclados". La utilización de productos reciclados disminuye el consumo de energía. Cuando se consumen menos combustibles fósiles, se genera menos dióxido de carbono y se previene el efecto invernadero. Además,

la producción de otros gases nocivos provenientes de dichas combustiones también se reducen, tales como los óxidos de azufre y nitrógeno productores de la lluvia ácida o la contaminación de ozono troposférico.

Desde el punto de vista financiero un buen proceso de reciclaje es capaz de generar ingresos. Por lo tanto es importante mejorar y establecer nuevas tecnologías en cuanto a los procesos de recuperación de plásticos y buscar solución a este problema tan nocivo para la sociedad y que día a día va en aumento deteriorando al medio ambiente.

En síntesis, el reciclado de plástico es una opción muy importante para el medio ambiente, ya que proporciona nuevas materias primas y mejora la sostenibilidad de nuestra sociedad, reduciendo grandes impactos ambientales.

Hay dos métodos principales para su reciclaje en nuevos productos: el **reciclado mecánico** y el **reciclado químico**.

2.1. RECICLADO MECÁNICO DEL PLÁSTICO

Consiste en trocear el material para introducirlo posteriormente en una máquina extrusora granceadora para moldearse después por los métodos tradicionales. Solamente puede aplicarse a materiales termoplásticos y a aquellos productos procedentes del consumo, es decir, que ya hayan tenido una primera utilización. Interesa este tratamiento por sus ventajas económicas pero presenta dos problemas fundamentales. El primero es que el plástico ya utilizado pierde parte de sus propiedades lo que obliga a emplearlos en la fabricación de otro tipo de productos con menos exigencias. El segundo es la dificultad para separar los distintos tipos de envases plásticos.

Normalmente se emplea reciclado mecánico, ya que es el que más compensa económicamente, pero considerando que la mayoría de los envases de plástico que son recogidos selectivamente vienen mezclados se acaba aprovechando aproximadamente tan solo el 50% de esa corriente de residuos

El reciclado mecánico es el principal método de reciclaje. El proceso consiste en convertir los plásticos en pequeños trocitos o pellets para su posterior transformación en productos e incluye diversas fases:

1. Lavado y limpieza: Los plásticos contienen suciedad como polvo, etiquetas, restos alimenticios, que deben separarse. Mediante un lavado con agua se consigue un plástico limpio y preparado para la siguiente fase.

2. Clasificación: No todos los plásticos son iguales ni pueden recibir los mismos tratamientos, por lo que esta fase se encarga de separarlos por tipo de material, por colores, por tamaños según las necesidades y objetivos del reciclado.

3. Trituración: Esta fase consiste en convertir los plásticos en pequeños trozos o granos.

4. Lavado: Nueva fase de lavado en tanques de agua para eliminar cualquier resto de suciedad o impuros.

5. Granceado: Esta etapa consiste en homogeneizar el material para convertirlo en granza para posibilitar su posterior transformación.

Una vez terminada todas estas fases, el plástico está preparado para convertirse en nuevos productos a través de diferentes métodos, como:

Extrusión: una vez calentado el material se somete a presión mediante una prensa para que pase a través de un troquel. Al enfriarse el plástico se solidifica manteniendo la nueva forma adquirida.

Inyección: este método consiste en inyectar el plástico fundido en un molde cerrado a presión y frío a través de un orificio. Una vez se enfría, el plástico se solidifica y se obtiene la pieza.

Moldeo por soplado: esta técnica es utilizada para producir piezas de plástico huecas, como botellas. Consiste en la inyección de plástico en un molde, y a continuación introducir aire a presión, para que el plástico fundido se adhiera a las paredes del molde y se solidifique en esa forma.

Compresión: consiste en colocar el material en un molde abierto y aplicarle presión mediante una prensa para que el material adopte la forma del molde.

Los plásticos que son reciclados mecánicamente provienen principalmente de dos grandes fuentes:

A) Residuos plásticos provenientes de los procesos de fabricación. Es decir, los residuos que quedan al pie de máquina, tanto en la industria petroquímica como en la transformadora. A esta clase de residuos se la denomina scrap. El scrap, en general, es más fácil de reciclar porque está limpio y es homogéneo en su composición. Algunos procesos de transformación (como el termoformado y soplado) generan scrap, que normalmente se recicla automáticamente en la misma fábrica y en forma automática, de lo contrario el proceso no sería económico.

B) Residuos plásticos provenientes de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Estos se dividen a su vez en tres clases:

- Residuos plásticos de tipo simple: han sido clasificados y separados.
- Residuos mixtos: los diferentes tipos de plásticos se hallan mezclados.
- Residuos plásticos mixtos combinados con otros residuos: papel, cartón, metales, etcétera.

Las etapas para producir plástico granulado una vez que los residuos llegan a la planta se presentan en la Figura 1

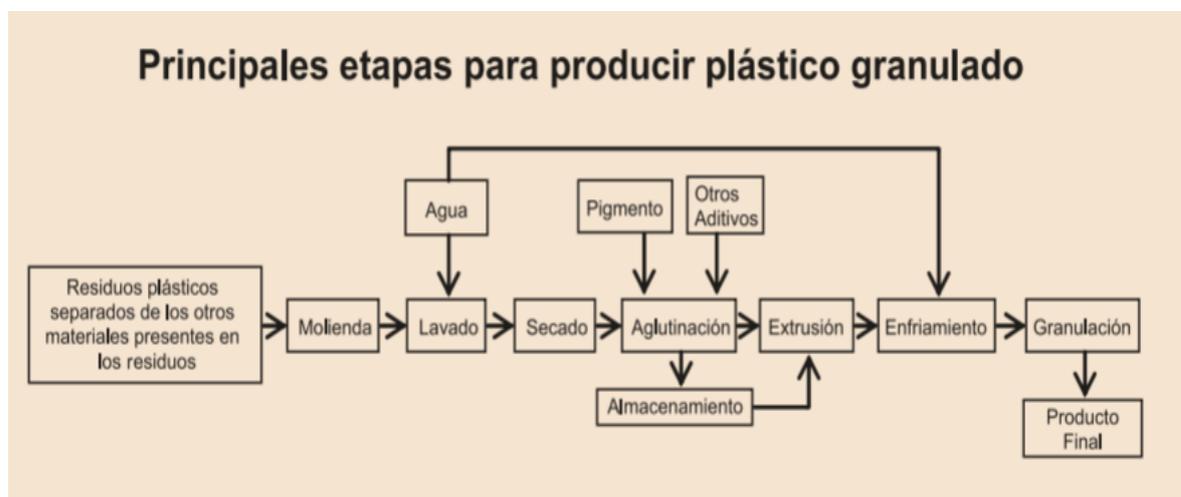


Fig. 1 Etapas para la granulación (Ref: 23)

Como se observa en el diagrama de la Fig. 1 se incluyen las siguientes etapas:

- 1. Molienda.** Los plásticos separados son molidos y tamizados. Es importante verificar que los plásticos no se encuentren contaminados con objetos metálicos, ya que esto dañaría las cuchillas del molino.
- 2. Separación por densidad.** Aprovechando las distintas densidades de los plásticos, esta técnica permite separarlos y obtener una mayor purificación. Se separan las trazas remanentes de otros plásticos, pequeños objetos metálicos u otras partículas. Este proceso consiste en una decantación con agua, y sus productos principales son las poliolefinas (PET, PVC y PS).
- 3. Lavado.** En el caso de que los plásticos se encuentren sucios, el lavado se efectúa con agua y detergentes de baja espuma.

4. **Secado.** Para eliminar los restos de humedad.
5. **Extrusión-granulación.** Se realiza para uniformizar el tamaño de las partículas del material. El mismo alimenta al tornillo de un extrusor, se funde por calor, se lo fuerza por una matriz, luego es enfriado por agua y finalmente es cortado en forma de pequeños cilindros (de aproximadamente 3 mm x 3 mm), denominados pellets. En este proceso al material se le aportan aditivos para mejorar su performance en su reutilización. También puede ser coloreado con pigmentos.
6. **Embolsado y almacenado.** El material ya está listo para su reutilización.

Si bien el procedimiento presentado es un modelo estándar de reciclado mecánico, existen otras tecnologías más simplificadas para el mismo fin. El proceso descrito es el que se utiliza en muchos países para la elaboración de pellets plásticos para soplado, inyección, extrusión de caños.

El reciclado mecánico es el más difundido en Argentina. En nuestro país, la tecnología para reciclado mecánico es de primer nivel mundial, lo que permite fabricar un material reciclado de muy alta calidad.

En términos generales, el reciclado de plásticos ha venido creciendo en Argentina en los últimos 15 años, y se estima que seguirá incrementándose.

En Argentina el reciclado total de plástico fue de 57100 Ton en 2003, 200000 Ton en 2011 llegando a 228000 Ton en 2017 Ref: 24 (Picone y Seraffini, 2019)

Actualmente en Argentina se reciclan, entre otros, los siguientes polímeros plásticos y sus residuos: PE – Polietileno de alta y baja densidad, PET; PP – Polipropileno; EPS - Poliestireno expandido (conocido por la marca comercial Telgopor); PC - Policarbonato: cuyo uso más difundido son los botellones de agua de dispensers.

Usos del material reciclado: Los productos que fabrica la industria transformadora con polímeros reciclados son principalmente:

PET - Envases / Fibras textiles / Flejes / Cuerdas

PEAD - Bolsas / Envases / Cañerías / Madera plástica / Baldes

PP – Cajones / Cañerías – Muebles

PVC – Caños / Suelas para calzado

2.2 RECICLADO QUÍMICO DEL PLÁSTICO

Los tratamientos químicos consisten en la transformación de los residuos plásticos en productos de interés, que pueden ser los monómeros de partida o mezclas de hidrocarburos con posibles aplicaciones como combustibles o como materias primas para la industria química. El interés que ha despertado este tipo de tratamientos se debe en parte a las limitaciones que presentan las demás opciones disponibles y a la posibilidad de emplearlo cuando el plástico está muy degradado o es imposible aislarlo de la mezcla en que se encuentra. Ref: 25 (Aguado y col. 2011)

Algunos de los motivos que llevaron a buscar otros procesos alternativos para la valorización de los residuos plásticos han sido la imposición legal de reducir las tasas de deposición en vertedero, la imposibilidad para incrementar la capacidad de incineración en muchos países, debido en gran medida al rechazo social, y ciertas limitaciones del reciclado mecánico.

Los residuos plásticos presentan dos grandes ventajas, por una parte, se generan en elevadas cantidades, y por otra parte son un recurso de bajo costo para la industria.

Aunque industrialmente la aplicación de los tratamientos químicos para la valorización de residuos plásticos es aún escasa, su desarrollo se encuentra en una fase avanzada, por lo que es previsible que en un futuro cercano se conviertan en una importante alternativa de gestión de estos residuos

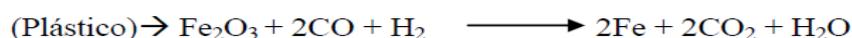
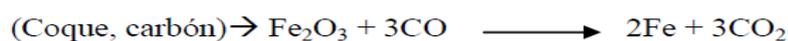
Las diferentes alternativas que se contemplan para el tratamiento químico de residuos plásticos comprenden. Ref. 25: (Aguado y col. 2011):

- Obtención de agente reductor en altos hornos,
- Despolimerización química (quimiólisis)
- Termólisis que dan lugar a mezclas de hidrocarburos
- Gasificación con producción de gas de síntesis
- Pirólisis o craqueo térmico
- Craqueo catalítico
- Hidrocraqueo

a) **Uso de residuos plásticos como agentes reductores en altos hornos**

Uno de los tratamientos químicos de residuos plásticos más sencillos, y que ya se ha implantado a escala industrial, es el uso de estos residuos como agentes reductores para la producción de hierro en altos hornos. Los plásticos contienen una relación H₂/C superior a la del carbón o el aceite mineral y su gasificación da lugar a un gas de síntesis rico en hidrógeno, que le confiere una mayor capacidad de reducción.

A continuación se muestran las reacciones de reducción del óxido de hierro cuando se utiliza carbón y cuando se utiliza plástico como agentes reductores. Cuando se emplea plástico, el hidrógeno contribuye a la reacción de reducción, disminuyéndose la cantidad de CO₂ generada en, aproximadamente, un 30% en comparación con la cantidad obtenida empleando coque o carbón.



En Europa, la empresa siderúrgica Voestalpine utiliza como agente reductor en sus altos hornos de Linz (Austria) los plásticos residuales que le proporciona la empresa AVE, dedicada a la gestión de residuos municipales e industriales. Para la producción de una tonelada de metal fundido se requiere el uso de alrededor de 370 kg de coque y unos 90 kg de aceites pesados, que pueden sustituirse parcialmente por residuos plásticos. Con este proceso se pueden llegar a gestionar hasta 220.000 toneladas de residuos plásticos al año. En Japón, la empresa Nippon Steel alimenta a sus altos hornos desde el año 2000 con residuos plásticos provenientes de envases y embalajes.

Los residuos plásticos se peletizan, se mezclan con carbón y se introducen en hornos de coquización donde se someten a elevadas temperaturas (1100-1200 °C) sin aporte de oxígeno. La descomposición térmica de esta mezcla da lugar a hidrocarburos líquidos y gaseosos y coque. El coque se utiliza como agente reductor para la obtención del acero.

Existen otros procesos similares al de Nippon Steel que consiguen

coque de buena calidad con diferentes mezclas de plásticos. Los residuos plásticos también se han empleado en hornos de arco eléctrico con resultados satisfactorios.

b) Despolimerización química o quimiólisis

La despolimerización química consiste en la ruptura de las cadenas poliméricas mediante la adición de un reactivo químico, obteniéndose los monómeros originales u oligómeros que se pueden volver a polimerizar, cerrándose así el ciclo.

En el proceso el polímero residual se tritura y se introduce en el reactor de despolimerización en el que se obtienen los monómeros que luego se purifican. Esos monómeros ingresan posteriormente a un reactor de polimerización donde se vuelve a generar el polímero virgen

La solvólisis, quimiólisis o descomposición química es aplicable solamente a polímeros de condensación (poliésteres, nylon y poliuretanos), los cuales tienen grupos funcionales unidos por enlaces débiles que son susceptibles de disociación por ataque con determinados agentes químicos. Según el agente utilizado las vías de tratamiento son: metanólisis, glicólisis e hidrólisis

Otros procesos menos comunes son la aminólisis o la saponificación

Existen procedimientos para reciclar poliuretanos (PU), polietilentereftalato (PET), poliamidas, polimetilmetacrilato (PMMA), polietilennaftalato (PEN) o polibutilentereftalato (PBT).

El PET, polímero de condensación de mayor consumo mundial, puede despolimerizarse para recuperar sus monómeros constituyentes (etilenglicol y ácido tereftálico) mediante procesos de hidrólisis, metanólisis, glicólisis, aminólisis y saponificación.

A nivel comercial, el proceso UNPET20 es el principal proceso hidrolítico de despolimerización de PET. Utilizando hidróxido de sodio como catalizador, se consiguen elevados rendimientos en etilenglicol y tereftalato disódico. Se trata de un proceso sencillo y de bajo costo que se comercializa en USA y en Europa

El proceso RECOPET, desarrollado por el Instituto Francés del Petróleo y la compañía Technochem Engineering es un proceso en tres etapas: saponificación a presión atmosférica con recuperación de etilenglicol; purificación de los tereftalatos en soluciones acuosas y precipitación

del ácido tereftálico mediante acidificación. Este proceso permite obtener ácido tereftálico de buena calidad con costos moderados. Muchas compañías emplean la glicólisis de PET a escala industrial. En este proceso se emplea etilenglicol para despolimerizar el PET hasta cadenas de 2 a 10 monómeros de longitud que posteriormente se repolimerizan con material virgen en una proporción del 25% de material reciclado.

c) Termólisis

Los tratamientos termolíticos degradan los polímeros para dar lugar a mezclas de hidrocarburos que puedan utilizarse como materias primas en la industria química o como combustibles.

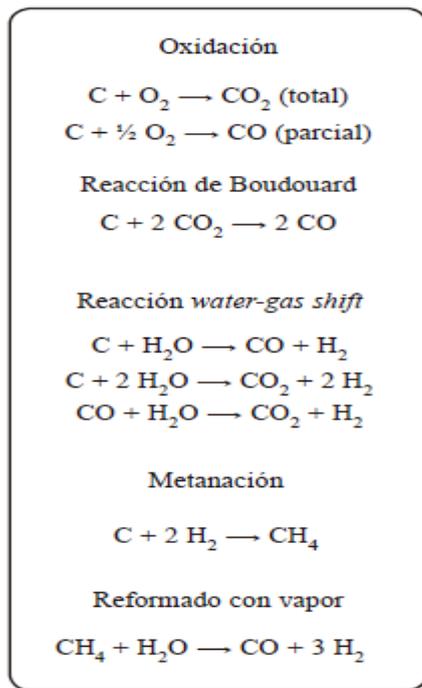
d) Gasificación

La gasificación consiste en el tratamiento térmico de los materiales a gasificar en presencia de una cantidad controlada de oxígeno y/o vapor de agua, inferior a la estequiométrica, de manera que se produzca una oxidación parcial de los mismos.

Es una tecnología muy usada para el carbón y ampliamente implementada. El producto de estos tratamientos es gas de síntesis mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno ($\text{CO} + \text{H}_2$), lo que requiere necesariamente acoplar estas tecnologías dentro de un complejo químico que permita el aprovechamiento de dicho producto.

Generalmente, los procesos de gasificación de hidrocarburos o biomasa constan de tres etapas: pirólisis del sólido y formación de hidrocarburos volátiles; craqueo secundario de los compuestos no volátiles formados; y gasificación de los productos obtenidos. La gasificación propiamente dicha de la fracción sólida carbonosa ocurre, a su vez, a través de diferentes reacciones, como se muestra en la Figura 2, teniendo en cuenta que suele emplearse como agente gasificante una mezcla de oxígeno o aire y vapor de agua.

Los proyectos industriales de gasificación suelen emplear diferentes tipos de materias primas (carbón, biomasa, residuos plásticos o aceites minerales) y mezclas de las mismas con el fin de obtener una corriente homogénea de entrada y una calidad predefinida de los productos.



Entre todos los procesos de gasificación existentes a escala industrial en los que intervienen plásticos residuales, el Texaco Gasification Process (TGP) es uno de los de mayor difusión. El TGP es un proceso en dos etapas, una etapa inicial de licuefacción de los productos alimentados seguida de otra posterior de gasificación propiamente dicha. Durante la licuefacción el plástico es parcialmente despolimerizado en condiciones suaves de craqueo térmico, obteniéndose un aceite pesado y una mezcla de gases compuesta por una fracción condensable y otra no condensable. Los gases no condensables se añaden a una

corriente de gas natural para utilizarse como combustible en esta etapa de licuefacción. El aceite y el gas condensable se inyectan a la segunda etapa de gasificación. La gasificación se lleva a cabo con oxígeno y vapor de agua a temperaturas entre 1200-1500°C. Los productos obtenidos se someten a sucesivas etapas de limpieza, recogiendo al final de los mismos un gas de síntesis limpio y seco formado principalmente por CO y H₂ y, en menor medida, por CH₄, CO₂ y H₂O, así como por algunos gases inertes.

e) Pirólisis o craqueo térmico

La pirólisis o craqueo térmico se basa en la ruptura de las cadenas poliméricas en atmósfera inerte a temperaturas habitualmente comprendidas entre 400-800°C. Con algunos polímeros de condensación, como PMMA o politetrafluoroetileno (PTFE), o de adición, como el poliestireno (PS), es posible obtener los monómeros originales con un rendimiento superior al 80%. Sin embargo, con la mayoría de los polímeros se obtiene una amplia distribución de productos debido al mecanismo de formación de radicales de la pirólisis térmica.

El PS produce elevados rendimientos a productos líquidos, principalmente aromáticos, siendo el estireno y el etilbenceno los mayoritarios, y genera una elevada cantidad de residuo sólido carbonoso, duro y similar al carbón, resultado de la condensación de anillos aromáticos. La pirólisis de PET produce elevadas cantidades de sólidos y gases, princi-

palmente CO y CO₂. Las poliolefinas (PEAD, PEBD y PP) generan menores cantidades de gases y residuos y elevados rendimientos a líquidos y ceras, con ligeras diferencias entre los tres polímeros en función del sistema de reacción.

Uno de los procesos más conocidos para el craqueo térmico de polímeros residuales es el denominado Proceso Hamburgo. Es un proceso en lecho fluidizado de arena con nitrógeno como agente de fluidización. En lo referente a los procesos industrialmente disponibles para la pirólisis de plásticos residuales, uno de los más importantes es el Polymer Cracking Process desarrollado por la compañía BP. El proceso comienza con un tratamiento previo que incluye trituración y eliminación de los compuestos no plásticos. El material así preparado se introduce en un reactor de lecho fluidizado precalentado que opera a 500°C en ausencia de aire. Los productos de reacción abandonan el reactor junto con el gas de arrastre. El HCl formado en la descomposición del PVC se neutraliza haciendo pasar el gas por un lecho de caliza. Alrededor del 85% en peso del plástico que entra en el proceso se transforma en hidrocarburos líquidos aptos para los procesos de refinería. Se obtiene, además, casi un 15% de gases que se emplean como combustible en el propio proceso. Los materiales sólidos se separan como residuos.

f) Craqueo catalítico

El craqueo catalítico consiste en promover la degradación de los plásticos mediante un catalizador, normalmente un sólido con propiedades ácidas (zeolitas, sílice-alúminas, etc.). Las ventajas del uso de un catalizador para la obtención de combustibles a partir de residuos plásticos pueden resumirse en los siguientes puntos: reduce significativamente las temperaturas y tiempos de reacción; se obtienen conversiones mayores con temperaturas y tiempos menores en comparación con el craqueo térmico; proporciona un mejor control sobre la distribución de productos en el craqueo de PEBD, PEAD y PP.

Mientras la degradación meramente térmica da como resultado un amplio intervalo de productos, la selectividad hacia determinadas fracciones puede incrementarse mediante la utilización de un catalizador adecuado. No obstante, el empleo de catalizadores directamente en contacto con los residuos plásticos presenta una serie de problemas operativos, como su posible desactivación por coquización o envenenamiento

provocado por la presencia de heteroátomos tales como Cl, N, S y diversos metales presentes en los residuos plásticos. Asimismo, la elevada viscosidad de los polímeros plantea problemas operativos en los reactores. Una de las alternativas que se plantean en la actualidad es la utilización de una etapa previa de craqueo térmico seguida de un reformado catalítico de los productos del craqueo térmico.

g) Hidrocraqueo

El hidrocraqueo consiste en la degradación de los polímeros mediante calentamiento en atmósfera de hidrógeno a elevadas presiones y en presencia de catalizadores bifuncionales capaces de promover asimismo la hidrogenación de los productos. Es un tratamiento versátil que permite obtener elevados rendimientos a hidrocarburos líquidos operando a temperaturas entre 300-500°C. Sin embargo, la necesidad de trabajar con hidrógeno a presiones entre 20 y 100 bares encarece de manera notable el proceso. Los catalizadores más habituales son sílice-alúminas o zeolitas impregnadas con metales, que pueden ser, tanto metales nobles, generalmente Pt o Pd, como de transición, siendo los más habituales, en este caso, Ni, Mo, W y Co.

h) Otras maneras de reciclar: Producción de madera plástica

Otra de las soluciones que se han planteado ante la acumulación de residuos plásticos ha sido la madera plástica. Esta ha sido una innovación desde hace ya una década, surgiendo del abandono de desperdicio de madera como tarimas de carga, muebles deteriorados y desde luego la acumulación de desechos plásticos en nuestros vertederos. Los materiales compuestos de madera (MCM) y plástico son materiales formados generalmente por plástico reciclado y maderas como pino, cedro, etc. Su composición tiene una mezcla plástica continua denominada matriz (incluye PE, PP, PVC, etc.) y otra constituida de fibra o polvo de madera. Ambas son construidas en hornos a 230 °C para la fusión de ambas. Además de fibras de madera y plástico, pueden contener otros materiales de relleno (ligno-celulósico o inorgánico). Por otro lado algunas fibras que pueden sustituir un porcentaje de la madera o/y el plástico pueden ser rellenos a base de fibras, ejemplo fibras de celulosa, cáscara de maní, bambú, paja, etc.

Además cabe resaltar que se ha disminuido la tala de árboles para la construcción de muebles para el hogar y cocina, haciendo estos materiales ecológicos y más duraderos en comparación con los elaborados de madera en su totalidad.

Este tipo de madera es utilizada para elaborar bases para pizarrones escolares, escritorios, etc. Respecto a la madera natural tiene ventajas tales como: no es atacada por los insectos xilófagos y no se pudre con la humedad. No obstante también tiene el inconveniente de que ciertos solventes como el benceno, el hexano y algunas cetonas (diluyentes de barniz) pueden atacarla.